This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1880.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS
6171 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1880.

PARIS,

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES, 44.

—

1880

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Grosseteste
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 16 JANVIER 1880.

PRÉSIDENCE DE MM. BERTHELOT ET MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 décembre 1879 est lu et adopté.

Avant de quitter le fauteuil de la présidence, M. Berthelot, Président sortant, prononce une allocution où il résume les travaux de la Société.

La Société, dit-il, compte aujourd'hui 440 Membres, dont 50 nommés en 1879 : accroissement remarquable et dont il importe de maintenir la progression. Les nouveaux Membres comprennent 19 professeurs dont 4 étrangers, 18 ingénieurs dont 4 étrangers, 3 personnes appartenant à l'armée et les autres appartenant à diverses professions.

Qu'il me soit permis d'en citer quelques-uns : MM. d'Abbadie, l'un des doyens de l'Institut; MM. Mallard et Lechâtelier, professeurs à l'École des Mines. Notre sympathique confrère, M. H. Sainte-Claire Deville, nous a présenté ses deux fils. M. Thollon, qui nous a montré un important instrument s'est associé à nous; enfin, aujourd'hui même, M. le colonel Goulier, qui a observé le premier l'astigmatisme et qui a enrichi la Science de tant de recherches ingénieuses, a demandé à faire partie de la Société.

En même temps qu'elle recevait ces adhésions, la Société a été assez heureuse pour ne perdre aucun de ses Membres en 1879.

Parmi les nombreux Mémoires qui lui ont été présentés, je rappellerai les recherches de M. Thollon sur la spectroscopie; le travail de M. Bertin sur les houppes des cristaux polychroïques; la découverte de la polarisation rotatoire magnétique de la lumière dans l'atmosphère terrestre, par M. Henri Becquerel; les recherches de M. Cailletet sur la compressibilité des gaz, celles de M. Kœnig sur la transmission téléphonique; celles de M. Gernez sur la distillation apparente par l'électricité; de M. Bouty sur certains phénomènes qui accompagnent l'électrolyse; de M. Lippmann sur le rôle des écrans magnétiques; les études de M. Cros sur la formation photographique des images colorées au moyen du bromure de potassium mêlé de diverses matières colorantes, etc. M. Cornu nous a présenté son travail sur la partie du spectre ultra-violette; M. Mercadier nous a dit comment on pouvait maintenir constante l'amplitude de la vibration; M. Sebert a montré comment il s'était servi de l'accélérographe de M. Marcel Deprez pour l'étude du problème de l'artillerie; M. Jamin nous a présenté sa nouvelle lampe électrique; MM. Reynier et Napoli, leurs lampes à incandescence; M. Faber, sa machine parlante; M. Marcel Deprez, son nouveau moteur électromagnétique et son ingénieux indicateur des pressions.

J'aurais encore à parler des Communications faites par MM. Mascart, Duter, Mouton, Gouy et d'autres, mais, à mon grand regret, je suis forcé d'arrêter cette énumération pour vous rappeler les noms des savants étrangers dont les travaux ont été présentés à la Société.

Avec les appareils envoyés par M. Mayer, de Hoboken (États-Unis), nous avons pu voir les expériences figuratives des actions moléculaires. M. Bjerknes a manifesté les forces apparentes produites par les vibrations et les pulsations de deux corps plongés dans un liquide. M. Rossetti nous a adressé ses recherches sur la température de l'arc voltaïque. M. Silvanus Thompson nous a montré une nouvelle illusion d'optique. La machine électrique de M. Teploff a fonctionné sous nos yeux et M. Lamansky a prouvé devant nous l'exactitude de la loi de Stokes sur la fluorescence. Enfin, aujourd'hui même, M. Crookes, membre de la Société royale de Londres, va mettre sous nos yeux, avec le concours amical de M. Bouty, ses magnifiques expériences qui semblent

ouvrir une ère nouvelle à l'étude de la propagation de l'électricité et aux propriétés des gaz extrêmement raréfiés. Je le remercie, au nom de la Société, d'avoir bien voulu retarder son départ pour nous montrer ses appareils et ses résultats.

Je termine en rappelant que l'état financier de la Société est prospère; le trésorier vous l'exposera dans la prochaine séance. Nous avons l'espoir fondé d'être reconnus prochainement d'utilité publique. La Société est donc en voie de progrès et de développement; c'est à nous tous d'y concourir en recrutant de nouveaux Membres. Quant à moi, il me reste à vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait et à transmettre la présidence à un successeur digne autant que personne de présider la Société.

M. Berthelot cède la présidence à M. Mascart, Président pour l'année 1880. On procède à l'élection du Bureau.

Le Bureau de l'année 1880 se trouve ainsi composé :

M. Mascart, *Président;*
M. Cornu, *Vice-Président;*
M. d'Almeida, *Secrétaire général;*
M. Lippmann, *Secrétaire;*
M. Dufet, *Vice-Secrétaire;*
M. Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

Est élu Membre de la Société :

M. Orduna, Ingénieur à Madrid (Espagne).

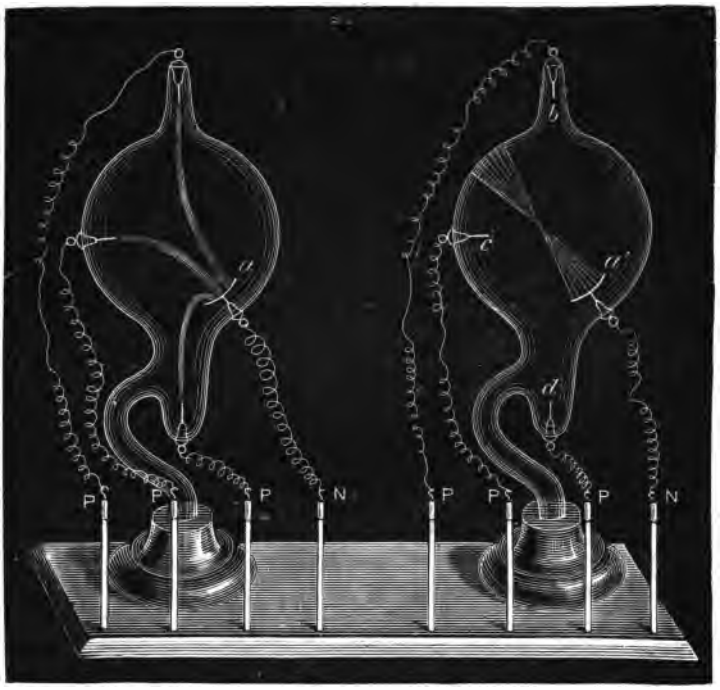
M. Crookes assiste à la séance et exécute devant la Société ses expériences sur l'étincelle dans les gaz raréfiés, dont M. Bouty donne au fur et à mesure l'explication.

Expériences de M. Crookes sur le passage de l'électricité dans les gaz très raréfiés, présentées par M. Bouty.

Quand on fait passer la décharge d'une bobine d'induction dans un tube contenant un gaz raréfié à la pression de 2^{mm} à 3^{mm} de mercure, par exemple, on aperçoit autour du pôle négatif une ligne

brillante qui est séparée de l'électrode par un espace absolument obscur. Ce dernier s'élargit à mesure qu'on pousse plus loin la raréfaction du gaz et peut finir, par exemple, sous une pression de 1 millionième d'atmosphère, par atteindre les parois du tube et en envahir toute l'étendue. C'est dans ces conditions que l'on voit apparaître les effets nouveaux qui ont été étudiés par M. Crookes. Ils consistent essentiellement en phénomènes de phosphorescence, actions mécaniques et calorifiques que nous allons rapidement passer en revue.

Fig. 1.



Ces phénomènes se produisent à la rencontre des parois du verre ou des corps solides placés à l'intérieur des tubes avec les directions normales à l'électrode négative. Par exemple, si celle-ci reçoit la forme d'un miroir sphérique concave *a'* (*fig.* 1), ces directions forment un cône ayant son sommet au centre de courbure du miroir. Ce point sera un foyer calorifique assez intense

pour produire la fusion du verre et même du platine iridié, et la phosphorescence du tube de verre se produira exclusivement à l'intersection du tube avec la deuxième nappe du cône. Il importe peu que l'électrode positive soit placée en face de l'électrode négative ou en tout autre point de la paroi *b*, *c*, *d* : l'apparence lumineuse demeure invariable. Si le gaz avait une pression plus élevée, le jet serait linéaire et réunirait les deux électrodes par une trajectoire courbe, comme on le voit sur le premier ballon de la *fig.* 1. On peut tailler l'électrode négative en cylindre *a* (*fig.* 2); alors

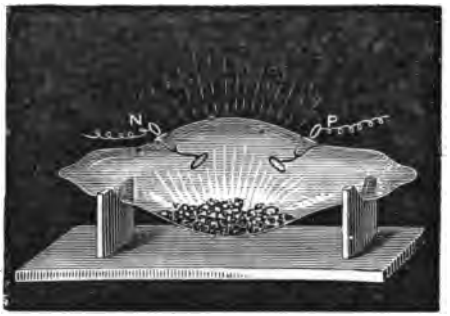
Fig. 2.

le foyer calorifique se développe en une ligne coïncidant avec l'axe du cylindre, et la phosphorescence se produit sur le tube, à partir des points où cette droite le rencontre, et sur le prolongement du faisceau des rayons normaux à la surface de l'électrode.

La phosphorescence développée à la surface du verre est d'une belle couleur verte; cette couleur change, bien entendu, avec la

nature des substances phosphorescentes, telles que sulfure de calcium, diamant, rubis naturel ou artificiel, alumine précipitée, etc. La phosphorescence du rubis (*fig.* 3) est d'une belle

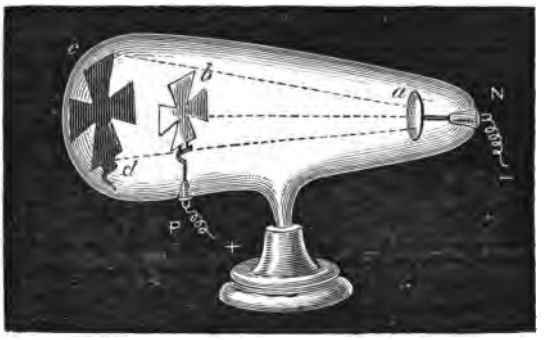
Fig. 3.



couleur rouge de feu; le spectre de la lumière émise n'a présenté qu'une seule raie excessivement intense, correspondant à une longueur d'onde de 689,5 millionièmes de millimètre et coïncidant avec la raie la plus brillante du spectre de l'alumine, sous ses diverses formes, tel qu'il a été décrit par M. Ed. Becquerel, d'après ses expériences faites au phosphoroscope.

Un écran disposé sur les trajectoires normales intercepte la

Fig. 4.

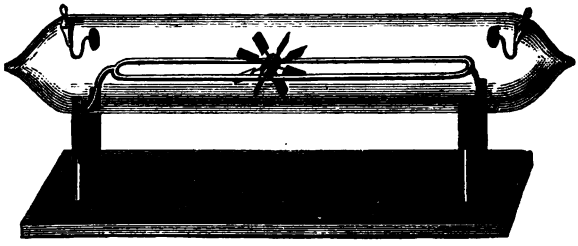


phosphorescence, et le verre demeure obscur derrière lui. Pour faire l'expérience, M. Crookes dispose à l'intérieur de l'un de ses

tubes (*fig.* 4) une croix *b* en aluminium, supportée entre les deux électrodes par une charnière mobile. Quand on anime le tube, ses parois s'illuminent, et l'on voit l'ombre de la croix se dessiner avec des contours parfaitement nets à la surface du verre en *c*; comme, d'ailleurs, la propriété que possède le verre d'être phosphorescent s'épuise peu à peu, si l'on abat la croix par un mouvement brusque, on voit la place demeurée sombre devenir lumineuse à son tour et se détacher du fond plus pâle qui l'environne, toujours avec un contour nettement défini.

Un moulinet à ailettes (*fig.* 5) de mica très légères, reposant par

Fig. 5.



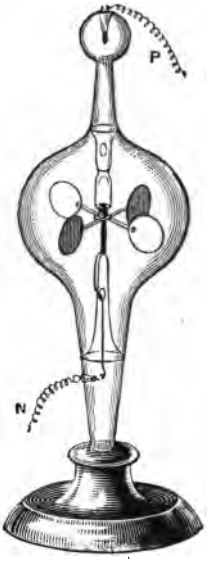
son axe sur deux rails de verre horizontaux, entre deux électrodes planes, est vivement repoussé par l'électrode négative; il prend un mouvement de rotation rapide, comme si ses ailettes étaient battues par une matière lancée normalement. Quand on change le sens du courant, le moulinet s'arrête et part en sens contraire; il peut même remonter ainsi une pente d'une dizaine de degrés. Un moulinet de radiomètre à ailettes verticales, placé entre les deux électrodes, tourne de même, comme si un choc périodique s'exerçait sur les faces des ailettes tournées vers le pôle négatif.

Réciproquement, on peut construire une sorte de radiomètre à ailettes métalliques d'un côté (*fig.* 6), revêtues de mica sur leur face opposée, reposant sur un axe métallique avec lequel elles communiquent électriquement et auquel est attaché le pôle négatif N. L'électrode positive P est à la partie supérieure du tube. Les ailettes prennent un rapide mouvement de recul, inverse du mouvement de rotation que prendrait un moulinet placé en avant de l'électrode négative. Cette expérience et celles qui précèdent ont entre elles la même relation qu'il y a entre le mouvement d'un fluide

qui s'écoule et le mouvement inverse d'un vase à réaction ou d'un tourniquet hydraulique.

Pour se rendre compte des faits qui précèdent, M. Crookes imagine que les trajectoires normales sur lesquelles se développent soit la phosphorescence, soit les actions calorifiques ou mécaniques, sont parcourues par des molécules gazeuses lancées avec une grande violence à partir de l'électrode négative. Au degré de raréfaction atteint dans ces expériences, la longueur du chemin moyen d'une molécule entre deux chocs consécutifs contre d'autres

Fig. 6.



molécules gazeuses doit être extrêmement considérable. M. Crookes pense que son étendue est justement celle de l'espace obscur observé autour du pôle négatif, et par suite, dans le cas actuel, au moins égal aux dimensions du tube. Les molécules lancées en ligne droite avec une vitesse égale à la vitesse moyenne caractéristique de la nature du gaz, vitesse à laquelle s'ajoute encore celle que produit la répulsion électrique entre les molécules et l'électrode, viennent heurter les obstacles mécaniques (comme les ailettes des moulinets qu'elles font tourner), et leur force vive, absorbée en totalité ou en partie, se transforme en une force vive égale des ailettes frappées,

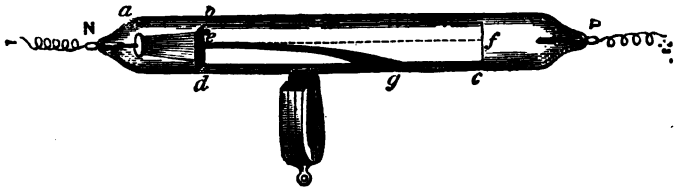
ou en une quantité de chaleur équivalente, comme dans l'expérience de la fusion du platine, ou enfin, dans le cas de la phosphorescence, en force vive lumineuse, d'après des lois qui nous sont encore inconnues.

Cette théorie de la *matière radiante* n'explique pas, il est vrai, la prépondérance de l'électrode négative, laquelle doit être acceptée comme un fait. Il semble d'ailleurs que, en raison même de la hardiesse de ses hypothèses, M. Crookes soit surtout disposé à employer la méthode expérimentale, se préoccupant plutôt pour le moment de grouper le plus grand nombre possible d'expériences nouvelles que de les relier ensemble par un lien trop étroit.

Pour M. Crookes, les files moléculaires qui se meuvent suivant une même trajectoire ne constituent pas, à proprement parler, un courant électrique, et il y a lieu d'étudier expérimentalement l'action exercée sur elles soit par des masses électrisées en repos, soit par des courants ou des aimants; ce serait en quelque sorte une nouvelle électrodynamique et un nouvel électromagnétisme à créer de toutes pièces. Un assez grand nombre d'expériences à ce sujet ont été publiées dans deux Mémoires des *Transactions philosophiques* (¹). Nous n'en indiquerons ici que deux.

En premier lieu, les jets moléculaires de M. Crookes sont sensibles à l'action de l'aimant. On peut dévier le faisceau convergent émané d'une électrode négative en forme de miroir concave et en amener le foyer sur la paroi du verre, qui entre alors en fusion. On peut également limiter, à l'aide d'un écran de mica *bd* (*fig.* 7),

Fig. 7.



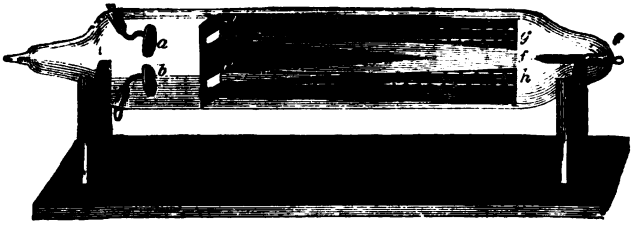
dans un jet moléculaire émané d'une électrode plane, un pinceau

(¹) *On the illumination of lines of molecular pressure and the trajectory of molecules* (*Bakerian lecture*, 1879); *Contributions to molecular Physics in high vacua* (*Philosophical Transactions*, Part. I et II, 1879).

très mince, que l'on rend visible au moyen d'un écran phosphorescent longitudinal. On voit le jet rectiligne *f* se dévier et se courber en *eg* sous l'influence de l'aimant et suivant la position que l'on donne à celui-ci. Cette propriété des jets moléculaires les rapprocherait de courants électriques.

Voici maintenant la seconde expérience. Un tube (*fig.* 8) pré-

Fig. 8.



sente deux électrodes négatives voisines *a* et *b* et une électrode positive *c* à l'autre extrémité. Un écran de mica *de*, percé de deux fentes, limite deux faisceaux étroits qui sont rendus visibles par un écran phosphorescent longitudinal et qui, au lieu de converger vers l'électrode positive en *f*, demeurent sensiblement parallèles en *dg* et *eh* sur toute la longueur de l'écran. Ils se repoussent donc : deux courants angulaires dirigés vers le sommet de leur angle devraient au contraire s'attirer.

Qu'il me soit permis de faire remarquer, en terminant, que M. Crookes n'a pas encore réalisé, par des expériences du genre de celles que nous venons de rappeler en dernier lieu, les conditions véritablement simples qui permettraient d'établir des lois élémentaires analogues à celles qui servent de base à l'électrodynamique, par exemple. L'influence des parois du tube, des écrans limitateurs ou phosphorescents peut intervenir d'une manière qu'il est difficile de faire entrer en ligne de compte, et M. Crookes lui-même, dans l'un de ses Mémoires, établit que les obstacles placés sur ses trajectoires moléculaires sont en général électrisés et qu'ils sont susceptibles, suivant les conditions où on les place, de produire sur ces trajectoires des déflexions variables dont les lois numériques sont encore inconnues.

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 janvier est lu et adopté.

Sur la proposition du Conseil :

M. Plateau, membre de l'Académie royale des Sciences de Belgique, est nommé membre honoraire.

Sont élus membres de la Société :

MM. Casalonga, à Paris;
Chaves (Antonio Ribeiro), à Rio-Janeiro (Brésil);
Goulier, colonel du génie, à Paris;
Gower, ingénieur, à Paris;
Haffen, capitaine du génie, à Paris;
Lamon, constructeur d'instruments de Physique, à Genève (Suisse);
Menier (Henri), à Paris;
Orléans (le comte d'), colonel d'état-major en retraite, à Paris;
Teisserenc de Bort (Léon), météorologiste au Bureau central météorologique, à Paris.

M. Schwedoff adresse une Note sur la théorie des sphères pulsantes de M. Bjerknes.

M. Napoli adresse par écrit une réclamation sur le procès-verbal de la séance du 19 décembre 1879. Il insiste sur ce que le frein adopté par lui « dans la lampe Werdermann avait pour but de rendre le contact latéral fonction de la pression en bout, ce qui diffère complètement du frein Reynier dont la fonction consiste, au contraire, à empêcher le charbon de descendre trop vite ».

M. L. Olivier expose à la Société son système électrique destiné à prévenir les accidents sur les voies ferrées. Le chasse-pierres de la locomotive ferme en passant un courant qui traverse un circuit

placé le long de la voie; le courant produit l'abaissement d'un drapeau-signal placé en avant du point où le circuit a été fermé; la voie se trouve ainsi couverte et l'arrivée d'un second train à l'encontre du premier devient impossible.

M. Pellat décrit les méthodes qu'il emploie pour mesurer les forces électromotrices des piles et les forces électromotrices de contact des métaux.

Sont élus Membres du Conseil :

Membres résidants.

MM. Janssen,
Sainte-Claire Deville (Henri),
Salet,
Sebert.

Membres non résidants.

MM. Bichat (Nancy),
Govi (Naples),
Gripon (Rennes),
Schwedoff (Odessa).

Observations sur la théorie des sphères pulsantes de M. Bjerknes; par M. Théodore Schwedoff.

Il y a onze ans, au Congrès des savants russes, à Moscou, j'émis pour la première fois l'idée d'une théorie nouvelle de l'électricité, basée sur ce principe :

« Une sphère *pulsante* qui se dilate et se contracte périodiquement se comporte comme une masse électrique ou bien comme un pôle magnétique. »

Un an plus tard, en 1870, je développai le même principe dans une Brochure, écrite en russe, ayant pour titre *Sur les lois de la transformation de la chaleur en électricité.*

Dans cette Brochure, j'applique la théorie aux phénomènes suivants : action à distance d'un corps électrisé sur un autre corps électrisé ou non ; électrisation par influence ; électrisation par contact ; chaleur dégagée par la décharge d'une batterie électrique ; interférence de deux courants de décharge. Plus tard, de 1874 à 1876, j'ai appliqué ma théorie à la distribution des courants dans une lame conductrice. Enfin, guidé toujours par la série des idées qui découlent de cette théorie, je suis arrivé, d'une manière imprévue, à la théorie des formes cométaires, dont je viens de publier les principes et dont le développement détaillé m'a contraint de suspendre mes recherches sur l'électricité.

Pendant que je travaillais, des années se sont écoulées sans que mes idées trouvassent un accueil favorable auprès du monde savant.

Quelles n'ont pas été, après cela, ma surprise et ma satisfaction lorsque j'ai rencontré dans le *Bulletin des Séances de la Société française de Physique* le Mémoire de M. Bjerknes, dont la thèse est qu' « une sphère pulsante qui se contracte et se dilate périodiquement se comporte comme un pôle magnétique ou comme une masse électrique ».

Si je relève ce fait de coïncidence d'idées, ce n'est assurément pas pour réclamer les droits de priorité contre M. Bjerknes : en fait de théories, la justesse des vues a certainement plus de valeur que la date de leur publication. D'ailleurs, il n'y a aucun doute que M. Bjerknes allait son chemin sans se douter de celui que j'ai frayé à côté de lui, car il arrive à des conséquences qui sont diamétralement opposées aux miennes. C'est justement cette dernière circonstance qui m'amène à faire des observations sur sa théorie.

Voici en quoi consiste la divergence des deux théories :

1° M. Bjerknes considère le cas de deux sphères pulsantes plongées dans un fluide *incompressible*.

Je traite le cas d'un fluide élastique, *compressible*.

2° Dans la théorie de M. Bjerknes, « il y a une inversion à faire », du moment qu'on veut la comparer aux faits réels. « Quoiqu'on ait, dit-il, une analogie d'ailleurs complète entre les phénomènes dont on s'occupe et ceux avec lesquels on les compare, le calcul montre une différence essentielle à signaler. Ici il faut généralement admettre que *les pôles* et aussi que *les masses électriques du même*

nom s'attirent, que *ceux du nom oppose se repoussent*. En d'autres termes, ce nouveau genre d'électricité et de magnétisme est d'une espèce inverse. »

3° Dans la théorie que j'expose, il s'agit non seulement d'une analogie, mais bien d'une identité entre les conséquences de la théorie et les faits observés. Le calcul ne montre aucune différence à signaler sous ce rapport. Les pôles et aussi les masses du même nom se repoussent, et ceux du nom contraire s'attirent, comme c'est le cas dans la nature.

Le genre d'électricité traité dans ma théorie n'est pas nouveau, mais bien celui que l'on connaît depuis des siècles, de sorte qu'il n'y a aucune inversion à faire quand on veut appliquer la théorie aux phénomènes de la nature.

4° Dans la théorie de M. Bjerknes, « les pôles magnétiques étant de plus équivalents à des masses électriques, on aura encore une action entre les nouveaux aimants et lesdites masses, d'où un électromagnétisme dont on ne connaît pas l'équivalent dans la nature ».

Dans ma théorie, les pôles magnétiques n'étant pas équivalents à des masses électriques, il n'y a ni aimants nouveaux ni électromagnétisme dont on ne connaisse pas d'équivalent dans la nature.

Mesure des forces électromotrices des piles et des forces électromotrices de contact des métaux; par M. H. Pellat.

I.

La méthode que j'emploie pour mesurer la force électromotrice de contact des métaux est intimement liée à celle qui me sert à déterminer la force électromotrice des piles. C'est pour cela que je commencerai par décrire cette dernière méthode, qui, du reste, présente quelques avantages sur celles qui, jusqu'ici, ont été employées dans le même but.

Le principe de la méthode consiste à opposer à l'élément en expérience une force électromotrice variable à volonté par degrés

continus et constamment connue par une simple lecture, jusqu'à ce qu'il y ait compensation exacte.

La valeur connue de la force électromotrice compensatrice est alors égale et de signe contraire à celle de l'élément.

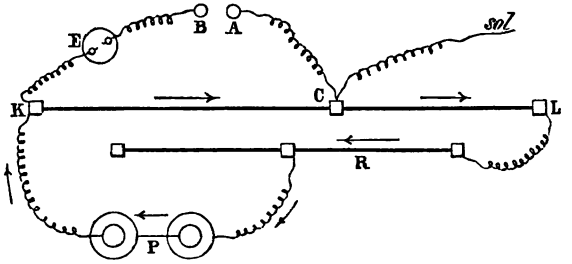
Pour obtenir une force électromotrice variable à volonté et constamment connue, je fais passer un courant constant dans le fil de platine d'un rhéostat de Pouillet; entre l'extrémité du fil correspondant au zéro de la graduation et le curseur existe une différence de potentiel proportionnelle à la distance qui sépare le curseur du zéro, c'est-à-dire proportionnelle à la lecture de la position du curseur, si le fil présente la même résistance par unité de longueur, ce qui est très facile à réaliser. La borne correspondant au zéro du fil et celle du curseur se comportent alors comme les deux électrodes d'un élément de pile (en circuit ouvert), mais d'une pile dont la force électromotrice est variable à volonté par degrés continus.

Je désignerai cet appareil sous le nom de *compensateur*.

Pour apprécier l'égalité entre les deux forces électromotrices opposées, je me sers de l'électromètre capillaire de M. Lippmann, fonctionnant ici comme électroscope. Cet instrument est d'une sensibilité merveilleuse pour juger de l'égalité entre deux forces électromotrices très voisines, car il permet d'apprécier une différence de potentiel inférieure à $\frac{1}{10000}$ de daniell.

Voici maintenant la disposition expérimentale adoptée. Le curseur C (*fig.* 1) du compensateur KL communique d'une façon per-

Fig. 1.



manente avec le sol et avec l'une des bornes A de l'électromètre capillaire. Le zéro du compensateur K communique avec la seconde borne B de l'électromètre, soit directement, soit par l'intermé-

diaire de l'élément E dont on veut mesurer la force électromotrice, soit enfin par l'intermédiaire de 1 élément Latimer-Clark servant d'étalon ($1^{volt},457$).

Ces changements s'opèrent très rapidement à l'aide d'un commutateur qui n'est pas représenté sur la figure.

Le courant est fourni par 2 éléments Daniell grand modèle P et traverse le fil du compensateur KL et le fil d'un rhéostat R qui n'a pas besoin de graduation et dont nous allons voir l'usage.

Pour faire une expérience, on amène le curseur C au zéro K du compensateur; cette extrémité K du fil correspondant directement avec la borne B, les deux bornes A et B de l'électromètre présentent alors une différence de potentiel nulle. On règle la position du microscope de l'électromètre de façon que l'image du ménisque mercuriel soit tangente au fil du réticule oculaire.

L'électromètre étant ainsi réglé, on amène le curseur vers l'extrémité L, vis-à-vis de la division 1000 de la règle [1], on oppose en E au compensateur l'élément étalon (Latimer-Clark), et l'on fait varier à l'aide du rhéostat R l'intensité du courant jusqu'à ce que le ménisque mercuriel redevienne tangent au fil du réticule.

La différence de potentiel entre A et B étant nulle de nouveau, la différence de potentiel entre le point 0 et le point 1000 du fil du compensateur a été rendue juste égale à 1 latimer-clark. Le compensateur est alors réglé. Pour mesurer la force électromotrice de 1 élément, on le substitue en E au latimer-clark et l'on fait courir le curseur jusqu'à ce que le ménisque mercuriel redevienne tangent au fil du réticule. La lecture de la position du curseur donnera en millièmes de latimer-clark la valeur de la force électromotrice de l'élément.

Comme on le voit, à part quelques modifications de détail, cette méthode est celle de du Bois-Reymond, dans laquelle l'électromètre de M. Lippmann remplace le galvanomètre; mais cette substitution présente de sérieux avantages. En premier lieu, le circuit dans lequel se trouve l'élément n'étant jamais fermé, il n'y a aucune crainte de le polariser soit dans un sens, soit dans un autre,

---

[1] Pendant ces changements, un interrupteur intercepte la communication entre C et A, pour que l'instrument ne soit pas blessé par une trop grande différence de potentiel entre les deux bornes.

ce qui arrive presque infailliblement dans toute méthode fondée sur l'emploi d'un galvanomètre.

Les mesures sont très rapides, parce que la colonne mercurielle arrive sans oscillation à sa position d'équilibre; une détermination ne demande pas une demi-minute.

Enfin, la sensibilité de la méthode est indépendante de la résistance de l'élément : j'ai pu mesurer facilement la force électromotrice de piles présentant environ 10 millions d'ohms de résistance et qui ne donnaient aucun courant sensible à un galvanomètre.

Cette sensibilité est du reste très grande; pour de faibles forces électromotrices, elle peut atteindre jusqu'à $\frac{1}{10000}$ de daniell. Pour des forces plus considérables, exigeant une longueur notable du fil du compensateur, la précision atteint encore $\frac{1}{2000}$ de latimer-clark (un demi-millimètre de la règle). Les légères oscillations du courant et le défaut d'homogénéité du fil empêchent d'aller au delà.

II.

La méthode que j'emploie pour mesurer la force électromotrice de contact de deux métaux est, je crois, entièrement nouvelle, et permet d'atteindre une précision supérieure à celle des méthodes usitées jusqu'à présent.

C'est une méthode de compensation.

On sait que, lorsque deux métaux sont réunis par un fil métallique, ils prennent une différence de potentiel égale à celle qu'ils prendraient par leur contact direct. Le fait est évident si le fil est de même nature que l'un des deux métaux; il subsiste encore si le fil est de nature différente, en vertu de la deuxième loi de Volta, fondée sur l'impossibilité d'avoir un courant dans une chaîne fermée, entièrement métallique, dont toutes les soudures sont à la même température.

Appelons (a) cette différence de potentiel, qui est précisément la quantité que nous voulons mesurer; supposons maintenant le fil coupé en un point, et introduisons entre les deux extrémités du fil, précédemment en contact, une différence de potentiel (e) à l'aide du compensateur; il est clair que la différence de potentiel entre les deux métaux deviendra $(a + e)$. Faisons varier (e) jusqu'à ce

que $a + e = 0$; on aura alors $a = -e$, ce qui donnera la valeur de la quantité (a), puisque (e) est constamment connu.

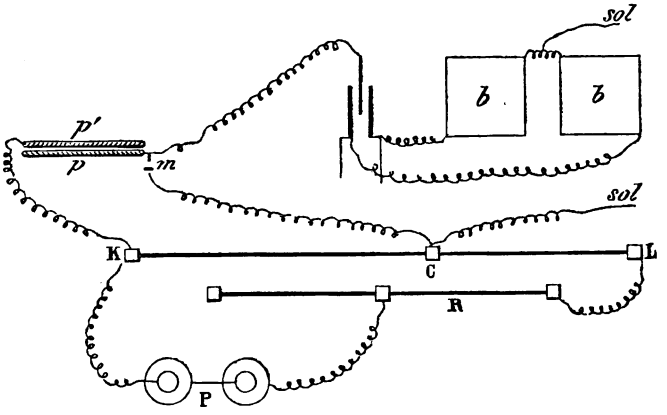
Il me reste à indiquer comment on apprécie l'égalité de potentiel entre les deux métaux.

Pour cela, ceux-ci constituent deux plateaux formant les deux armatures d'un condensateur à lame d'air (ou d'un gaz quelconque) très mince. Tant que les deux plateaux ne seront pas au même potentiel, ils se chargeront d'électricité, et après avoir interrompu les communications, si on les écarte et que l'on mette l'un d'eux en relation avec un électroscope sensible, celui-ci accusera la charge; mais, quand ils auront été amenés au même potentiel, la charge sera nulle et il n'y aura aucune déviation.

Tel est le principe de la méthode; voici maintenant la disposition expérimentale.

Les deux plateaux p et p' (*fig.* 2) sont disposés horizontalement

Fig. 2.



l'un au-dessus de l'autre; tous les deux sont isolés; le plateau supérieur p' est seul mobile et communique d'une façon permanente avec le zéro K du fil du compensateur. Le second plateau p est fixe; il communique d'une façon permanente avec la feuille d'or d'un électromètre de M. Hankel [1], fonctionnant ici comme électro-

[1] Cet électromètre est une modification de celui de Bohnenberger. Il consiste en une feuille d'or suspendue entre deux plateaux attractifs, portés à des potentiels égaux et de signes contraires par les deux pôles d'une batterie *bb* de 100 à 200 élé-

scope. Quand les deux plateaux sont rapprochés, le plateau *p* communique avec le curseur du compensateur, par conséquent avec le sol, ou plus exactement avec les écrans électriques qui entourent le système des deux plateaux. Une fraction de seconde avant l'écartement des plateaux, cette communication est interrompue et le plateau *p* ne communique plus qu'avec l'électroscope. Quand le plateau supérieur est abaissé pour recommencer une nouvelle expérience, cette communication se rétablit d'elle-même.

Pour faire une détermination, on amène d'abord le curseur C au zéro K du compensateur ; comme il y a une longueur nulle du fil du compensateur comprise entre les extrémités des fils aboutissant aux deux plateaux, ceux-ci se chargent alors en vertu de la différence de potentiel qu'ils prendraient par leur contact direct : si l'on écarte le plateau supérieur, la feuille d'or diverge d'un certain côté.

Recommençons l'expérience après avoir un peu éloigné le curseur du zéro ; si le courant passe dans un sens convenable, la différence de potentiel sera diminuée et la feuille d'or divergera moins par l'écartement. On arrive aisément à trouver une position du curseur pour laquelle l'écartement des plateaux laisse la feuille d'or au repos ; le curseur, étant un peu au delà ou un peu en deçà de cette position d'écartement, détermine une déviation de sens contraire.

D'après ce que nous avons vu, la lecture de cette position du curseur donnera immédiatement en millièmes de latimer-clark la valeur de la force électromotrice de contact des métaux qui constituent les deux plateaux.

Le tâtonnement régulier que nécessite chaque détermination a la plus grande analogie avec celui d'une pesée précise, sauf qu'il exige beaucoup moins de temps.

On juge par l'opération même de la précision de la mesure, et, si elle n'est pas suffisante, il n'y a qu'à augmenter la sensibilité de l'électroscope ou à rapprocher davantage les plateaux. Cette précision peut atteindre $\frac{1}{1000}$ de latimer-clark.

---

ments Volta, dont l'élément du milieu communique avec le sol. La tranche de la feuille d'or est regardée avec un microscope portant un micromètre oculaire. L'écartement des plateaux règle la sensibilité de l'électromètre, qui peut être accrue indéfiniment.

Comme on le voit, l'exactitude d'une mesure est indépendante : 1° de la sensibilité de l'électroscope, 2° de la force condensante du condensateur formé par les deux plateaux, par conséquent indépendante de leur distance, soit dans la position rapprochée, soit dans la position éloignée, indépendante de la constante diélectrique du gaz interposé.

Jusqu'ici toutes les déterminations de forces électromotrices de contact, étant faites en mesurant une charge électrique, dépendaient de la sensibilité de l'électromètre et de la force condensante; or il est très difficile de rendre suffisamment constantes ces deux quantités, même pour deux mesures consécutives.

III.

Les mesures électroscopiques sont les seules (1) capables de déterminer les forces électromotrices de contact; mais répondent-elles bien au but qu'on se propose? C'est ce qu'il est bon d'examiner.

Dans toutes ces mesures, quelle que soit la disposition expérimentale adoptée, on se sert d'un condensateur formé par les métaux à étudier, séparés par une lame isolante généralement gazeuse. Ce qu'on mesure au juste est la différence de potentiel que prennent les *armatures* de ce condensateur quand les métaux sont rejoints métalliquement; en particulier, dans la méthode qui vient d'être exposée, c'est cette quantité que l'on compense. Or, est-ce bien là la différence de potentiel des métaux? Évidemment oui si les armatures sont bien constituées par les métaux mêmes; mais rien n'est moins prouvé.

On sait effectivement que dans un condensateur les charges électriques quittent les surfaces métalliques pour se porter en grande partie sur les faces opposées de la lame isolante qui deviennent ainsi les véritables armatures du condensateur. Ainsi donc, la seule quantité accessible à l'expérience dans ces sortes de mesures est la différence de potentiel que prennent les faces opposées de la lame

---

(1) Voir *De l'effet Peltier dans la mesure des forces électromotrices de contact* (*Journal de Physique*, t. IX, p. 122).

isolante quand on rejoint métalliquement les métaux. Pour qu'il n'en fût pas ainsi, il faudrait que le diélectrique jouît d'un pouvoir isolant absolu. Désignons par le symbole $A|B$ la différence de potentiel que présentent au contact deux corps A et B. Appelons I la substance isolante, M et M′ les deux métaux, V et V′ les potentiels des faces opposées de la lame isolante quand les métaux communiquent métalliquement entre eux; on a, par définition, pour le potentiel du métal M la valeur $V + I|M$, pour celui de M′ la valeur $V + I|M + M|M'$, et enfin pour celui de la deuxième face de l'isolant $V + I|M + M|M' + M'|I$, d'où

$$V' = V + I|M + M|M' + M'|I$$

et

$$V' - V = I|M + M|M' + M'|I.$$

Ainsi donc, ce qu'on mesure $(V' - V)$ est vraisemblablement la somme de trois forces électromotrices de contact, et, si $I|M + M'|I$ n'est pas nul, ce que rien ne nous autorise à admettre *a priori,* la force électromotrice de contact *apparente* $(V' - V)$ diffère de la force électromotrice *vraie* $M|M'$.

Il est donc probable que la nature de la lame isolante doit influencer les mesures électroscopiques.

Une autre remarque doit encore être faite : les métaux que nous avons désignés par M et M′ sont ceux qui forment la couche la plus superficielle des faces métalliques en regard, d'après la deuxième loi de Volta; toute cause qui tend à modifier physiquement ou chimiquement la surface de ces métaux peut modifier aussi la valeur de $(V - V')$. En particulier, les gaz condensés par les surfaces métalliques peuvent peut-être changer assez celle-ci pour influencer d'une façon sensible le phénomène.

C'est ce qui m'a engagé à faire varier les gaz qui séparent les plateaux dans mes expériences, et j'ai reconnu qu'effectivement la nature et la pression du gaz ont une influence sensible sur la valeur de la force électromotrice de contact apparente, mais que cette influence reste comprise entre des limites *très faibles* par rapport à la valeur totale. Il résulterait de là que la valeur vraie de la force électromotrice de contact serait très voisine de la valeur apparente.

J'ai constaté aussi que deux métaux de même nature chimique,

mais à des températures différentes, présentaient une certaine force électromotrice de contact, et que celle-ci est d'un ordre de grandeur bien supérieur (50 à 100 fois) à celui des forces électromotrices thermo-électriques moyennes pour les mêmes intervalles de température.

Je crois que ces deux phénomènes n'avaient pas encore été constatés expérimentalement. Leur étude est poursuivie.

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1880.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Gouy, docteur ès sciences, à Paris;
Regnard, Sous-Directeur du laboratoire de Physiologie, à la Sorbonne.

M. d'Almeida communique à la Société une lettre de MM. Vincent et Leclerc relative à un appareil projeté par eux et devant servir de galvanomètre inscripteur. Le principe de ce galvanographe consiste à maintenir l'aiguille aimantée à une déviation constante et à approcher ou éloigner le courant. Ces variations de position du courant s'obtiennent par deux électro-aimants qui sont mis en activité dès que l'aiguille s'éloigne de sa position fixe, par suite de son contact avec deux petites coupelles de mercure très voisines et placées de part et d'autre de la position constante de l'aiguille.

M. A. Duboscq présente un appareil destiné à produire facilement l'interversion de la raie du sodium. Entre la fente de la lanterne de projection et la lentille se trouve une série de lampes à alcool alimentées par l'alcool salé. M. Cornu fait remarquer que le phénomène serait plus net encore en plaçant les lampes à alcool avant la fente. Le procédé de M. A. Duboscq revient à projeter sur le spectre une image diffuse de la flamme d'alcool.

M. Cailletet répète ses expériences sur la compressibilité des mélanges gazeux.

M. Garbe communique, au nom de M. Mouton, les résultats de ses travaux sur la dispersion des rayons calorifiques obscurs.

Expériences sur la compressibilité des mélanges gazeux; par M. Cailletet.

En poursuivant mes recherches sur la compression des gaz, j'ai constaté, ainsi que M. Andrews et plusieurs autres savants l'avaient déjà fait, que l'acide carbonique mélangé à l'air ne se liquéfie plus avec la même facilité que l'acide pur.

J'ai étudié également les mélanges d'acide carbonique et de protoxyde d'azote avec l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, et j'ai constaté plusieurs faits intéressants dont je poursuis l'étude en ce moment.

J'emploie pour mes recherches l'appareil qui m'a servi pour la liquéfaction des gaz, et je mesure les pressions à l'aide d'un manomètre à azote que j'ai décrit à l'occasion de mes recherches sur la loi de Mariotte (1).

En comprimant dans le tube de l'appareil un mélange de 1^{vol} d'air et de 1^{vol} d'acide carbonique, la liquéfaction n'est plus possible même à zéro et à 400^{atm}, le point critique de ce mélange étant situé bien au-dessous de la température de la glace fondante.

Lorsque l'on comprime un mélange de 5^{vol} d'acide carbonique et de 1^{vol} d'air, l'acide carbonique se liquéfie facilement si la température n'est pas supérieure à $+21°$; puis, si l'on augmente la pression jusqu'à 150-200^{atm}, le ménisque de l'acide liquéfié, qui était concave, d'une netteté parfaite, devient bientôt plan, ne semble plus toucher les parois du tube, s'efface peu à peu, et le liquide disparaît.

Si l'on agite alors le tube, on ne voit plus le liquide, mais des stries nombreuses indiquent que la matière qui occupe le sommet

---

(1) Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 61.

du tube n'est pas entièrement homogène. En continuant à agiter l'appareil, les stries disparaissent bientôt, et le tube ne contient plus qu'une masse gazeuse qui résiste à toutes les pressions presque autant qu'un liquide.

Si l'on diminue la pression avec lenteur, afin d'éviter les phénomènes de refroidissement, on observe que le liquide reparaît toujours à une pression constante pour une température déterminée; il se produit alors au-dessus du mercure un brouillard blanc opaque qui se développe et s'évanouit en un instant, en découvrant le niveau du liquide qui vient de reparaître. En opérant sur un mélange formé de 5^{vol} d'acide carbonique et de 1^{vol} d'air, le liquide carbonique reparaît à

132^{atm}	à la température de +	5°,5
124	»	10
120	»	13
113	»	18
110	»	19

Le gaz carbonique comprimé à + 21° ne se liquéfie plus même à 400^{atm}.

Les mélanges formés d'acide carbonique et de mêmes volumes d'azote, d'hydrogène et d'oxygène ne se liquéfient pas sous les mêmes pressions; il semble que chaque gaz constitue un mélange jouissant de propriétés particulières.

La disparition du liquide, qui a lieu dans tous les cas, ne peut s'expliquer par l'élévation de la température causée par la compression. Dans mes expériences, le tube qui contient les gaz est maintenu à température fixe au moyen d'un manchon qui reçoit un courant d'eau à température constante, et la compression se fait assez lentement pour que la chaleur développée ne puisse troubler les résultats.

On pourrait supposer que la disparition du liquide n'est qu'apparente et que, l'indice de réfraction de l'air comprimé augmentant plus vite que celui de l'acide liquide, il arrive un moment où la surface de séparation du gaz et du liquide cesse d'être visible au moment où les deux indices deviennent égaux.

Cette explication ne peut être admise, car, en augmentant de plusieurs centaines d'atmosphères la pression du système, la surface

de séparation du gaz et du liquide redeviendrait visible, l'indice de réfraction du gaz continuant à augmenter par hypothèse plus rapidement que l'indice du liquide. Or l'expérience que j'ai poussée jusqu'à 450^{atm} n'a donné que des résultats négatifs.

En réalité, tout se passe comme si à un certain degré de compression l'acide carbonique liquéfié se diffusait dans le gaz que le tube contient, en produisant une matière homogène sans changement sensible de volume.

Il est donc permis d'admettre que le gaz et le liquide se sont dissous l'un dans l'autre. J'ai essayé de vérifier cette hypothèse en rendant visible l'acide liquide, ce qui serait facile en le colorant; de toutes les substances essayées, l'iode seul a pu se dissoudre, mais son action sur le mercure est si rapide, que le tube est aussitôt rendu opaque par la couche d'iodure de mercure qui masque le phénomène.

En résumé, on peut supposer que sous de hautes pressions un gaz et un liquide, tels que l'acide carbonique ou le protoxyde d'azote, peuvent se dissoudre l'un dans l'autre en formant un tout homogène.

Sur la mesure des longueurs d'ondulation des radiations infra-rouges; par M. L. Mouton.

Ainsi que je l'ai rappelé dans une Communication faite le 7 novembre 1879, si entre deux nicols parallèles on place une lame de quartz taillée parallèlement à son axe, celui-ci faisant un angle de 45° avec les sections principales des nicols, et que l'on fasse traverser le système par un faisceau normal à la lame, reçu ensuite sur la fente d'un spectroscope, le spectre sera sillonné de bandes noires parallèles à la fente, et la longueur d'onde λ du milieu de chacune de ces bandes répondra à la relation

$$(1) \qquad \frac{e(n'-n)}{\lambda} = \frac{2k+1}{2},$$

dans laquelle e est l'épaisseur de la lame, n' et n les indices ordinaire et extraordinaire du quartz correspondant à λ, k un nombre

entier qui diminue d'une unité quand on passe d'une bande à sa voisine en allant du violet au rouge. J'ai montré comment se détermine l'épaisseur e en millimètres de Fraunhofer (¹), ainsi que le nombre k correspondant à une bande déterminée. Ainsi, j'ai cité une lame pour laquelle $e = 247^{\mu}$, et le nombre $\frac{2k+1}{2}$ correspondant à la dernière bande noire visible du côté rouge est $\frac{7}{2}$. Il suit de là que les bandes obscures ou plutôt froides que MM. Fizeau et Foucault ont les premiers vues se continuer dans le spectre infra-rouge ne pourront pas, avec cette plaque, dépasser trois, correspondant successivement aux nombres $\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$ et $\frac{1}{2}$.

Cela posé, supposons un spectroscope agencé de telle façon qu'on puisse connaître toujours avec une exactitude déterminée l'indice, par rapport à la substance du ou des prismes qui y entrent, de la radiation frappant la pile à un moment donné; faisons en second lieu les prismes du spectroscope en quartz, l'arête réfringente étant parallèle à l'axe de cristallisation. Suivant que l'on placera les sections principales des polariseurs parallèles ou perpendiculaires à cette arête, on aura le spectre extraordinaire ou le spectre ordinaire du quartz. Puisque dans l'un comme dans l'autre cas nous pouvons mesurer l'indice des radiations frappant la pile, celle-ci étant amenée sur une bande froide dans le cas du spectre ordinaire, on aura le nombre n, et sur la bande de même ordre, dans le cas du spectre extraordinaire, le nombre n'. Ainsi, sans aucune extrapolation, tout, excepté λ, sera connu dans l'égalité (1).

Tel est le procédé que j'ai employé; c'est, comme on le voit, celui de M. Fizeau (²), débarrassé de l'extrapolation relative à la différence $n' - n$, dont je mesure directement les deux termes.

Il ne me reste plus qu'à décrire brièvement le spectroscope que j'ai adopté et le moyen à l'aide duquel la pile était amenée sur le milieu d'une bande froide.

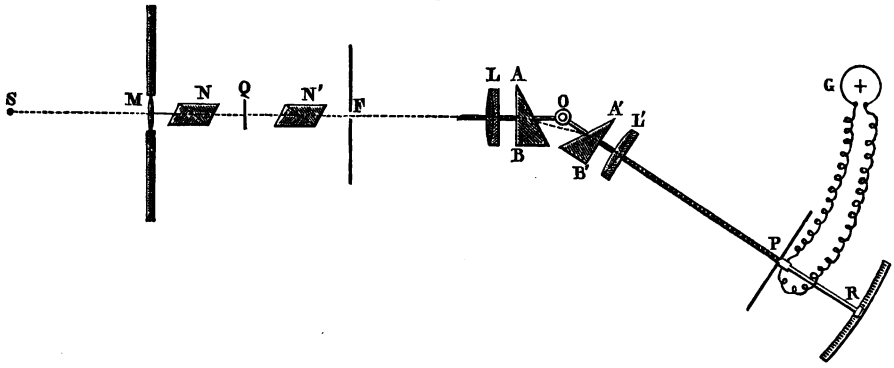
La *fig.* 1 représente tout le dispositif expérimental.

(¹) J'appelle *millimètre de Fraunhofer* une unité de longueur telle que la longueur d'ondulation de la raie D_1 y soit 0,0005888, nombre adopté par M. Mascart. J'en désigne la millième partie par μ.

(²) *Comptes rendus de la Société philomathique*, 1847.

En S est la source lumineuse et calorifique (lampe Bourbouze), dans la pièce voisine de celle qui contient les appareils; une lentille M encastrée dans la cloison donne en F l'image de la lampe. Entre M et F ($0^m,50$ environ) sont les polariseurs N et N', énormes nicols de $0^m,05$ d'ouverture, et la lame Q. En F commence le spectroscope. La fente F et la lentille achromatique L constituent le collimateur; la lentille L' et la pile linéaire P correspondent à la lunette. A et A' sont deux prismes d'angles réfringents égaux :

Fig. 1.



le premier, A, est fixe; le second, A', est avec la lentille L' et la pile P, monté sur un bras solide tournant autour d'un centre O. En R est un arc de cercle gradué de centre O, donnant la minute. C'est le dispositif de couple dont l'idée appartient à MM. Gouy et Tholon (1).

Je place la fente F au foyer de la lentille L, en même temps que le faisceau cylindrique qui sort de L est rendu normal à la face AB par le procédé le plus exact connu, à savoir l'image de la fente F réfléchie sur AB étant ramenée à coïncider avec cette fente elle-même. La même chose a lieu pour A', L' et P. Ici j'ai dû faire en sorte que le corps de la pile pût se séparer de l'écran-fente donnant accès aux radiations; une lampe mise à la place de la pile fournit le faisceau, et, le réglage fini, la pile est replacée. Enfin un brûleur à sodium, mis à la place de la lampe S, donne en P la

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIII, p. 269; t. LXXXVI, p. 329 et 595.

raie très nette de la soude; j'amène, par la rotation du bras OP autour de O, cette raie à tomber sur la fente de la pile, et la position du vernier terminant ce bras est notée sur l'arc R.

Ce système présente les avantages suivants : 1° toute radiation lumineuse ou obscure frappant la pile jouit, par rapport au système de prismes, des propriétés focales du minimum de déviation ; 2° on a pu à l'avance, sur un bon goniomètre, déterminer l'angle A des prismes, ainsi que leur indice ν par rapport à la lumière de la soude. La déviation Δ que le système imprime à cette lumière est alors donnée par la relation

$$\sin\left(A + \frac{\Delta}{2}\right) = \nu \sin A,$$

et enfin la radiation qui frappera la ligne médiane de la pile quand le vernier sera sur l'arc R, à une distance δ du sodium (du côté rouge par exemple), aura un indice n déterminé par la relation

$$\sin\left(A + \frac{\Delta}{2} - \frac{\delta}{2}\right) = n \sin A.$$

Les mesures optiques étant faites à 10″ près avec des prismes se tenant entre 30° et 35°, si le pointé calorifique fournit δ à 1′ près, l'indice n sera déterminé avec quatre chiffres décimaux exacts.

J'ai placé successivement en Q cinq lames de quartz étudiées optiquement au préalable, comme on l'a vu, et choisies de façon que les bandes qu'elles fournissent ne soient ni trop larges ni trop voisines les unes des autres.

J'ai employé, pour déterminer la position de chaque bande froide, le procédé indiqué par MM. Fizeau et Foucault : la lame Q ayant son axe placé parallèlement aux sections principales des polariseurs, on lit la déviation galvanométrique ; la lame est ensuite placée à 45°, les bandes se produisent et l'on a une nouvelle déviation ; le rapport entre celle-ci et la précédente oscille, quand on promène la pile dans le spectre, entre 0 et 1 ; ses minima correspondent aux bandes froides.

Ce procédé, que MM. Fizeau et Foucault avaient imaginé, à cause de l'irrégularité du spectre calorifique du Soleil, pour ne pas, comme ils le disent, « confondre une bande d'interférence avec un minimum normal de l'intensité calorifique », avait pour moi l'avantage

d'annuler l'effet des variations de la lampe. Grâce à un système automatique permettant de faire tourner rapidement la lame de 45°, chaque couple d'observations, absolument indépendant des autres, ne durait que quelques minutes et pouvait être renouvelé autant qu'il le fallait, en fournissant, quel que fût l'état de la lampe, des résultats toujours comparables entre eux.

Je n'ai recherché exactement que la position des bandes froides, les autres m'ayant toujours paru se déterminer moins nettement.

Le Tableau ci-après donne les résultats suivants.

Nos d'ordre des lames.	Leur épaisseur.	Ordre de la dernière bande lumineuse.	Ordre des bandes calorifiques pointées.	Valeurs correspondantes de $n' - n$.	Valeurs correspondantes de λ.
					μ
1 ...	125μ	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	0,00900	0,73
			$\frac{1}{2}$	0,00870	2,15
2....	181	$\frac{5}{2}$	$\frac{3}{2}$	0,00890	1,07
3 ...	247	$\frac{7}{2}$	$\frac{5}{2}$	0,00893	0,88
			$\frac{3}{2}$	0,00880	1,45
4....	303,6	$\frac{9}{2}$	$\frac{5}{2}$	0,00886	1,08
			$\frac{3}{4}$	0,00875	1,77
5. ..	616	$\frac{15}{2}$	$\frac{5}{2}$	0,00868	2,14

On voit que la lame n° 1 a donné toutes les bandes qu'on devait en attendre. Il n'en est pas de même des autres. Ainsi, la bande $\frac{1}{2}$ du n° 3 n'existe pas. Cela tient à ce qu'elle se produirait à une longueur d'onde que ne renferme pas le spectre des radiations traversant le système.

Il résulte du présent travail qu'un nombre pour ainsi dire illimité de bandes de longueur d'onde connue peuvent être produites dans le spectre infra-rouge donné par un prisme d'une substance quelconque. On peut donc graduer en longueurs d'onde un spectroscope calorifique, quelle qu'en soit d'ailleurs la forme.

On voit, de plus, que, si dans le spectroscope que j'ai adopté on place des prismes de substances différentes, à côté de la longueur d'onde d'une bande s'obtiendra son indice par rapport à cette substance. Je suis donc actuellement à même de suivre jusqu'à la longueur d'onde 2μ,14 la loi de dispersion d'une substance quelconque. Si l'on observe que la longueur d'onde de la raie R, la dernière déterminée dans l'ultra-violet par M. Mascart, est

$0^{\mu},31775$, on voit que celle de la dernière bande que j'ai pointée, $2^{\mu},14$, est plus de six fois plus grande. On dispose ainsi d'une gamme totale supérieure à deux octaves et une quarte, dans laquelle ne figure guère que pour une octave la totalité des radiations chimiques et lumineuses.

SÉANCE DU 5 MARS 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Debrun, préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux;
Jussieu (de), imprimeur à Autun;
Mersanne (de), ingénieur civil à Paris;
Palmade, lieutenant du génie, au fort de Tournoux.

M. Niaudet présente un radiomètre électrique dont les palettes viennent passer successivement dans l'axe d'un tube de Geissler. Cet appareil tourne comme s'il était repoussé par le pôle négatif.

M. Bertin décrit la jauge de Mac-Leod, employée par M. Crookes pour mesurer le vide de ses tubes. Cet appareil peut, d'après M. Crookes, mesurer une pression de $\frac{5}{10000}$ d'atmosphère, et, d'après M. Warren de la Rue, peut aller jusqu'à une pression sept ou huit fois plus faible.

M. Marcel Deprez expose ses recherches sur le rendement économique des moteurs électriques et sur la mesure de la quantité d'énergie qui traverse un circuit électrique; il décrit et présente ensuite un galvanomètre servant à mesurer de forts courants variant rapidement.

M. Javal présente un petit photomètre portatif destiné à mesurer la quantité de lumière que reçoit chacune des places d'une salle

d'école; il consiste dans la comparaison d'une feuille de papier éclairée, placée à une place donnée, et de teintes plates obtenues par des hachures noires plus ou moins serrées.

M. Napoli parle, à ce propos, d'un photomètre qu'il a construit et dont le principe consiste en deux disques superposés animés d'un mouvement de rotation et présentant des fenêtres qui peuvent se recouvrir et donner un rapport quelconque entre les pleins et les vides. Cet appareil sera présenté dans la prochaine séance.

Sur le rendement économique des moteurs électriques et sur la mesure de la quantité d'énergie qui traverse un circuit électrique; par M. Marcel Deprez.

Quand, sur le circuit d'une pile, on intercale un moteur, l'intensité du courant est différente, suivant que le moteur est en repos ou tourne en développant un certain travail. Soient I l'intensité du courant quand le moteur est immobile, et i son intensité quand le moteur travaille. Après avoir mesuré ces deux valeurs, arrêtons le moteur et introduisons dans le circuit une résistance telle que l'intensité du courant soit ramenée de I à i. Dans ces conditions, la production d'énergie par la pile est évidemment la même que lorsque le moteur travaillait, puisque la force électromotrice de la pile et l'intensité du courant sont restées les mêmes. D'autre part, la consommation d'énergie n'a évidemment pas varié dans la partie du circuit étrangère au moteur et à la résistance additionnelle. Nous sommes donc en droit d'affirmer que, comme consommation d'énergie, le moteur en travail d'une part, et le moteur en repos et la résistance additionnelle d'autre part, se remplacent identiquement.

Or, la quantité d'énergie absorbée dans une simple résistance et convertie en chaleur, pendant l'unité de temps, a pour expression le produit de la résistance par le carré de l'intensité du courant.

En représentant par r_1 la résistance du moteur en repos, par r_2 la résistance additionnelle qui est nécessaire pour ramener le

courant à l'intensité i, et par Q la quantité de chaleur qui traverse l'ensemble de ces deux résistances, on a

$$Q = (r_1 + r_2) i^2.$$

D'après ce qui précède, c'est cette même quantité d'énergie qui traverse le moteur en mouvement, tant sous forme de chaleur que sous forme de travail. Désignons ce dernier par T; on a

$$T + r_1 i^2 = (r_1 + r_2) i^2 \quad \text{ou} \quad T = r_2 i^2.$$

En comparant cette portion d'énergie convertie en travail utile à la quantité totale qu'absorbe le moteur, on a l'expression du rendement

$$\frac{T}{Q} = \frac{r_2}{r_1 + r_2}.$$

Cette expression très simple peut être remplacée par une autre, qui a une grande importance dans le cas où le courant est engendré par une machine dynamo-électrique. Désignons par E_1 la force électromotrice de la machine génératrice, par E la force électromotrice inverse de la machine réceptrice, qui, par sa rotation même, tend à engendrer un courant de sens contraire à celui de la machine génératrice. Le courant qui circule dans l'ensemble du circuit et des deux machines est dû à la différence $E_1 - E$; son intensité a pour expression, en désignant par R la résistance *statique* [1] des deux machines et du circuit extérieur,

$$I = \frac{E_1 - E}{R}.$$

Cherchons maintenant la valeur de la résistance r_2 qu'il faudrait ajouter au circuit pour que le courant qui le traverse, quand on s'oppose à la rotation de la machine réceptrice, ait encore l'intensité I; cette résistance r_2 sera donnée par l'équation

$$\frac{E_1 - E}{R} = \frac{E_1}{R + r_2},$$

[1] Je désigne ainsi la résistance des machines à l'état de repos.

d'où

$$r_2 = \frac{E_1 R}{E_1 - E}.$$

La valeur du rendement économique absolu de la machine réceptrice sera égale, d'après le théorème précédent, à $\frac{r_2}{r_1 + r_2}$ dans laquelle r_1 devra être remplacé par la *résistance totale* R de tout le circuit. Ce rendement, qui n'est autre que le rapport du travail transmis au travail dépensé, devient alors, en remplaçant r_2 par sa valeur,

$$\frac{E}{E_1},$$

expression remarquable, qui est indépendante de la résistance du circuit extérieur [1]. Ce fait peut sembler extraordinaire au premier abord, et même contradictoire à certaines expériences, dans lesquelles on ne s'est peut-être pas préoccupé suffisamment de réaliser les conditions du maximum de rendement. Pour le rendre moins paradoxal, il suffit de rappeler que, lorsqu'un courant est employé à produire de l'énergie sous une autre forme que le travail mécanique, par exemple la décomposition de l'eau dans un voltamètre, le nombre d'équivalents d'eau décomposés est toujours égal au nombre d'équivalents de zinc dissous dans chacun des éléments de la pile, quelle que soit la longueur du circuit extérieur, qui, d'ailleurs, n'a plus d'influence sur le nombre des éléments nécessaires pour opérer cette décomposition. Il y a donc là un fait expérimental bien constaté, dans lequel le rendement économique n'est pas influencé par le circuit extérieur.

Je passe maintenant à la description de l'appareil permettant de mesurer la quantité d'énergie qui passe pendant l'unité de temps dans un circuit électrique compris entre deux points A et B.

Joignons ces deux points par un circuit auxiliaire d'une grande résistance, dans lequel nous intercalerons un rhéomètre à fil fin et long, tandis que dans le circuit principal nous plaçons un rhéomètre à gros fil. Cela posé, cherchons l'expression de la quantité d'énergie qui passe dans le circuit principal, en fonction des inten-

---

[1] Cette expression du rendement a déjà été donnée par M. Cabanellas.

sités de ces deux courants, mesurées par les déviations des aiguilles des rhéomètres.

Désignons par I et R l'intensité et la résistance du circuit principal, par I′ et R′ les quantités correspondantes dans le circuit auxiliaire. Soit E la différence des potentiels en A et en B. La quantité d'énergie qui passe dans le circuit principal est exprimée par RI^2 ou EI, tandis que l'intensité du courant dans le circuit auxiliaire a pour valeur

$$\frac{E}{R_1} = I',$$

d'où

$$E = R'I',$$

et par suite

$$EI = R'II'.$$

La quantité d'énergie est donc proportionnelle au produit des intensités des deux courants ou au produit des déviations des aiguilles.

J'ai imaginé plusieurs dispositions qui donnent immédiatement, et par une simple lecture, la valeur de ce produit II′. La plus simple d'entre elles consiste en un cadre multiplicateur, d'assez grande dimension, dans l'intérieur duquel se trouve un second cadre mobile sur des couteaux. Sur le cadre fixe est enroulé un fil fin et long, faisant un grand nombre de tours et constituant le circuit dérivé. Le second cadre est, au contraire, entouré d'un fil très gros, traversé par le courant principal. Deux petites coupes remplies de mercure, et dans lesquelles plongent des lames attachées au cadre mobile, permettent de lui amener le courant sans nuire en rien à sa mobilité. Enfin une petite masse fixée au cadre mobile, dans le prolongement de la droite qui joint l'axe des couteaux au centre de gravité de ce cadre, permet d'obtenir l'effort antagoniste qui doit faire équilibre au couple résultant des actions réciproques des deux cadres, lequel est proportionnel au produit II′ des intensités des deux courants qui traversent ces cadres. En ajoutant à cet appareil un totalisateur que j'ai imaginé en 1876 (¹)

(¹) Ce totalisateur diffère de ceux qui sont connus, par l'adjonction d'un mécanisme auquel j'ai donné le nom de *servo-moteur cinématique*, et qui permet à des appareils très délicats de commander avec une extrême précision le mouvement d'organes soumis à des frottements relativement considérables.

et qui a été appliqué depuis dans le wagon d'expériences de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, on peut obtenir, à un instant quelconque, la valeur de l'intégrale $\int_0^t \mathrm{I}\mathrm{I}'dt$, qui fait connaître la quantité totale d'énergie qui a traversé le circuit pendant le temps t.

Le mesureur d'énergie permettra de réaliser facilement des expériences qui présentent d'assez grandes difficultés quand on emploie la méthode ordinaire. Parmi elles, je citerai la mesure de la quantité de chaleur nécessaire pour opérer une décomposition chimique.

Sa graduation peut être faite soit en calories, soit en kilogrammètres par minute, soit en chevaux-vapeur. Appliqué à une lampe électrique, par exemple, il indiquera à chaque instant le travail absorbé par la production de la lumière. Pour le graduer, il faut employer tout le courant qui traverse le circuit principal à chauffer un calorimètre dont on fera varier la résistance. A chacune de ces résistances correspondra un nombre déterminé de calories par minute et une position de l'aiguille de l'instrument. On pourra ainsi déterminer plusieurs points de la graduation du cadran et achever cette graduation par interpolation graphique. Un instrument étalon ainsi gradué avec beaucoup de soin permettra de graduer autant d'instruments que l'on voudra.

Galvanomètre de M. Marcel Deprez; par M. A. Niaudet.

La figure ci-jointe présente une des formes qu'a reçues l'instrument.

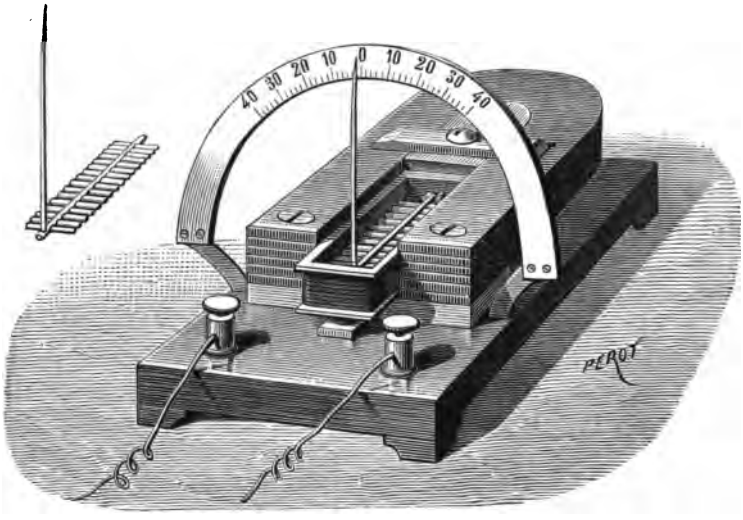
L'aiguille est ici multiple : ce sont réellement seize ou dix-huit petites aiguilles parallèles, montées sur un axe unique, et dont l'aspect particulier a fait dénommer l'appareil *galvanomètre à arête de poisson*. Ces aiguilles sont de fer doux; elles sont placées, comme on le voit, entre les deux branches parallèles d'un aimant en fer à cheval. Cet aimant puissant les dirige énergiquement dans son plan, si énergiquement, que, si l'on écarte à la main le système

des aiguilles, il revient par un saut brusque à sa position de repos et y oscille entre des limites très rapprochées.

Le conducteur du courant qui doit agir sur l'aiguille est placé sur un petit cadre rectangulaire entre les aiguilles et les branches de l'aimant.

Dès que le courant passe, on voit l'aiguille sauter brusquement à sa position nouvelle d'équilibre et s'y tenir, sans ces longues os-

Fig. 1.



Galvanomètre de M. Marcel Deprez.

cillations qui, avec les galvanomètres ordinaires, font perdre tant de temps aux expérimentateurs.

L'instrument est complété par une aiguille indicatrice mobile devant un cadran. Dans l'appareil ici représenté, l'axe qui porte les aiguilles est dans le plan horizontal de l'aimant directeur. Dans une autre disposition, cet axe est perpendiculaire à la direction générale de cet aimant; l'aiguille aimantée est unique et se meut dans le plan vertical : il résulte de cet arrangement que l'indicatrice est rabattue sur l'aimant et que l'appareil a un moindre volume.

On peut composer le conducteur de plusieurs spires de fil recouvert de soie, comme dans l'appareil figuré, ou bien le former

d'une seule lame de cuivre, pour rendre sa résistance presque nulle.

On voit par la description qui précède que ce galvanomètre n'a pas besoin d'être orienté, puisque son aiguille aimantée, dans la position qu'elle occupe, est soumise à une action infiniment plus grande que celle de la Terre.

Mais la propriété la plus importante de cet instrument est de donner instantanément l'indication de l'intensité du courant; il en résulte, en effet, la possibilité de montrer des variations très brusques de l'intensité, variations que les galvanomètres actuels sont impuissants à faire connaître. Cette propriété tient à l'extrême légèreté du système mobile et à la grande énergie des actions qui le sollicitent. Quand l'aiguille arrive par un saut un peu grand à sa position d'équilibre, on la voit bien osciller un moment, mais ces oscillations ont le caractère des vibrations d'un diapason et témoignent de l'énergie des actions mises en jeu. Si l'on met le galvanomètre dans le circuit d'une machine Gramme, on voit l'aiguille trahir par des oscillations toutes les irrégularités du mouvement de la machine. Si l'on fait passer le courant d'une forte pile dans un puissant électro-aimant, et qu'on l'étudie en même temps au galvanomètre, on voit l'intensité varier et croître pendant un temps fort long, qui peut s'étendre à une minute dans des circonstances spéciales, c'est-à-dire que le développement complet du magnétisme n'est achevé qu'au bout de cette période et que, pendant tout le temps qu'elle dure, la réaction d'induction de l'électro-aimant est sensible et décroissante.

Il nous reste à dire que le galvanomètre en question permet d'évaluer mécaniquement l'intensité du courant et de peser, pour ainsi dire, le courant. Si, en effet, on produit une déviation déterminée de l'aiguille de l'instrument en faisant agir un poids de 10^{gr} sur un rayon de $0^{m},10$, on pourra affirmer qu'un courant produisant la même déviation exerce un effort égal à celui du poids.

SÉANCE DU 19 MARS 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Chamant (Joseph), capitaine au 139e d'infanterie de ligne, à Clermont-Ferrand;

Kerangué (Yves de), capitaine au 121e d'infanterie de ligne, à Saint-Étienne;

Montferrier (Abel de), à Paris.

M. le comte L. Hugo adresse une Note sur le caractère sinusoïdal de la loi de refroidissement de la protonébuleuse solaire, d'après toutes les observations planétaires.

M. Leclerc envoie la description d'un appareil qu'il a imaginé avec M. Vincent, destiné à enregistrer électriquement les morceaux de musique joués sur un piano quelconque.

M. Gariel montre à la Société de nouveaux appareils représentant la marche des rayons lumineux, soit à travers une lentille, soit dans l'œil.

M. Gariel montre ensuite un dispositif qui rend visible la marche des rayons lumineux dans diverses expériences d'Optique géométrique; les rayons rasent un écran de verre dépoli, y marquent leur trace et dessinent ainsi une figure pareille à celles que l'on trace sur le tableau noir pour les démonstrations.

M. Marcel Deprez démontre, en réponse à une observation de M. Joubert, présentée à propos du dernier procès-verbal, que l'expression générale du travail électrique est égale à ei, e étant une différence de potentiel et i l'intensité du courant.

M. Raynaud ajoute que le même théorème se trouve établi dans le livre de Verdet, et qu'il sert à démontrer *a priori* la nécessité des forces électromotrices de polarisation et d'induction.

M. Deprez expose ensuite un appareil électrique qui reproduit à distance un mouvement quelconque.

M. Napoli fait fonctionner un nouveau photomètre.

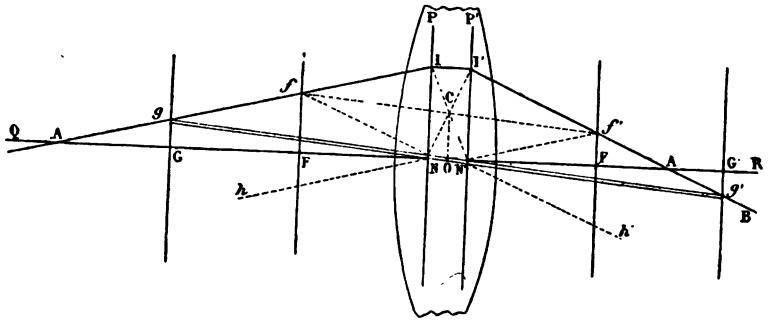
M. Gariel présente, au nom de M. le Dr Cusco, un appareil imitant le mécanisme d'accommodation du cristallin. C'est une auge cylindrique contenant de l'eau et dont les bases se bombent plus ou moins sous l'influence d'une pression variable. Le foyer optique du système se déplace alors d'une façon extrêmement marquée, régulière et continue.

Appareils et expériences pour les démonstrations d'Optique élémentaires; par M. Gariel.

I.

Nous avons indiqué dans une précédente Communication (15 janvier 1875) quelques appareils qu'il nous paraissait intéressant d'introduire dans les Cours élémentaires pour la démonstration et l'explication des lois de l'Optique géométrique. Nous avons eu, depuis cette époque, l'occasion d'étudier à nouveau et

Fig. 1.



de simplifier la construction de ces appareils schématiques, ce qui nous a permis d'étendre leur emploi.

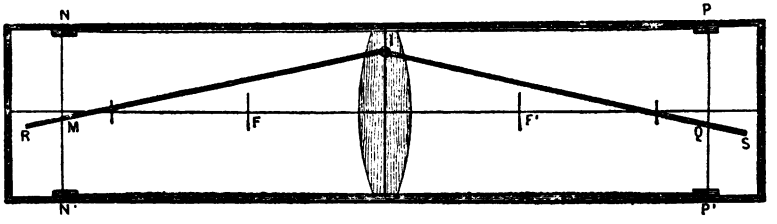
Dans la *fig.* 1, qui reproduit la construction du rayon émergent correspondant dans une lentille à un rayon incident donné, il est

facile de démontrer que les trois points f, C et f' sont constamment en ligne droite. Comme le point C est indépendant de la direction du rayon incident et que les longueurs Cf et Cf' sont égales, on en conclut immédiatement que, dans les changements de direction des rayons, les déplacements des points f et f' sont égaux et de sens contraires, d'où résulte que, si ces points sont reliés par un fil passant à la partie supérieure sur une ou plusieurs poulies, et dont la longueur soit invariable, les déplacements des points f et f' correspondent précisément aux changements dus à l'action de la lentille.

L'appareil que nous avons l'honneur de présenter à la Société est construit pour le cas où l'on néglige l'épaisseur de la lentille; il y aurait peu de changements à y introduire pour passer au cas général : il suffirait que les deux rayons correspondants vinssent aboutir sur les deux plans principaux à la même distance de l'axe.

Les deux rayons mobiles RI, SI (*fig.* 2) sont fixés par une glis-

Fig. 2.



sière à un circuit rectangulaire passant sur quatre poulies, et dont la continuité assure que l'entraînement des tiges représentant les rayons aura lieu quel que soit le sens du mouvement. Il n'y a pas lieu d'insister davantage sur le fonctionnement de l'appareil, qui se comprend aisément.

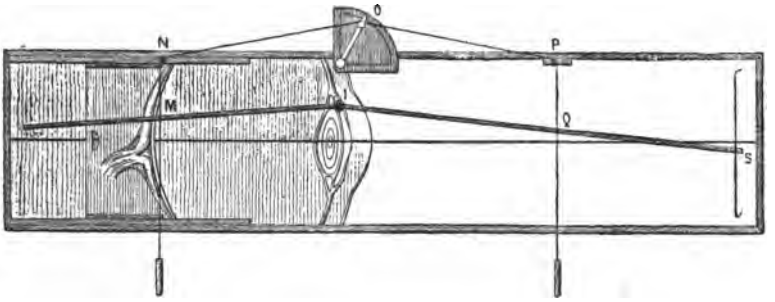
Le mode de liaison que nous venons de signaler nous a permis d'établir un appareil schématique (*fig.* 3) permettant de faire comprendre les principales questions physiques qui se rattachent à la vision.

L'œil, formé de milieux successifs divers, peut, au point de vue optique, être remplacé, comme l'a montré Listing, par une seule surface réfringente (œil réduit). La méthode précédemment indiquée se trouve alors applicable, et, par l'emploi d'un fil reliant le

rayon réfracté dans l'œil au rayon incident, on peut aisément montrer les divers cas qui peuvent se présenter.

Mais il fallait, en outre, faire comprendre les effets produits par l'accommodation, c'est-à-dire par une augmentation de convergence de l'œil : il eût suffi, pour produire ce résultat, d'augmenter la longueur du fil reliant les deux rayons. Ce moyen n'était pas pratiquement commode; on peut aisément le remplacer en forçant le fil à passer en un point déterminé dont on varie la position. Nous sommes arrivé au résultat en l'astreignant à passer sur une petite poulie O située à l'extrémité d'un bras mobile autour du centre. Lorsque le bras passe de la verticale à l'horizontale, tout se passe

Fig. 3.



comme si les milieux réfringents devenaient plus convergents, c'est-à-dire comme si l'œil passait de l'état de repos à l'état d'accommodation maxima ; le bras se meut d'ailleurs sur un arc de cercle qui peut être gradué et fournit ainsi à l'auditoire une indication visible de l'état d'accommodation.

Pour que l'appareil pût être réellement utile aux étudiants en Médecine, auxquels il est spécialement destiné, il fallait qu'il pût représenter à volonté les états de l'œil correspondant à l'emmétropie, à la miopie, à l'hypermétropie. Nous avons atteint ce résultat simplement en dessinant la partie qui représente la coupe de la rétine sur une pièce mobile que l'on peut faire glisser dans des coulisses, de manière à changer la longueur du diamètre antéro-postérieur de l'œil et à faire passer celui-ci par tous les degrés d'amétropie compris entre l'extrême myopie et l'hypermétropie exagérée.

Nous croyons, d'après l'expérience faite en 1879 à la Faculté de Médecine de Paris, que cet appareil peut rendre de réels services dans le cas de Cours spéciaux où la discussion des formules même les plus simples est presque impossible.

II.

Les mêmes conditions que nous venons d'invoquer en faveur de nos appareils schématiques nous ont conduit à présenter sous une nouvelle forme un certain nombre d'expériences relatives à l'Optique géométrique.

Lorsque l'on étudie les effets produits par les lentilles, on dessine au tableau la marche géométrique des rayons, le plan du tableau étant le plan dans lequel se meuvent et restent les rayons. Puis, pour vérifier les résultats indiqués, on fait passer un faisceau à travers une lentille, et l'on étudie les sections faites dans le faisceau émergent par un plan que l'on place transversalement au faisceau et à diverses distances de la lentille. Bien que la relation entre la figure et l'expérience soit des plus simples, nous avons dû reconnaître à plusieurs reprises qu'elle n'était pas toujours comprise, et nous avons cherché à parer à cet inconvénient; après divers essais qu'il serait sans intérêt de rappeler ici, nous sommes arrivé, croyons-nous, à une disposition pratique qui nous paraît appelée à rendre des services. Le principe, fort simple d'ailleurs, consiste à couper les faisceaux que l'on veut étudier par un écran en glace dépolie que l'on place presque parallèlement à l'axe. On a alors une section du faisceau sensiblement plane qui est très nettement visible, même dans un grand amphithéâtre, si l'on y peut obtenir une obscurité à peu près complète.

Il y a bien souvent un grand intérêt à opérer sur un faisceau lumineux que l'on perd trop souvent de vue dans l'étude, pour ne considérer que la marche géométrique d'un ou de deux rayons; mais, en interposant un écran percé de fentes parallèles fines, on peut rendre visibles deux ou trois pinceaux lumineux que l'on peut confondre avec des rayons; si même on dispose d'une source vive de lumière, il est possible, en interposant des verres diversement colorés, de distinguer les rayons, dont la marche se suit avec une facilité plus grande encore.

En plaçant sur le trajet du faisceau ou de ses rayons et perpendiculairement à l'écran, ou à peu près, un miroir plan, des miroirs cylindriques en verre argenté, par exemple, on se rend un compte exact de l'action de ces surfaces réfléchissantes dans ces différents cas. On peut également interposer des lames à faces parallèles, des prismes, des lentilles cylindriques, etc. Dans tous les cas, les rayons lumineux réellement visibles dessinent sur l'écran la même figure géométrique que le professeur a tracée au tableau.

Nous avons disposé également une cuve cylindrique remplie d'eau et qui présente sur une base placée verticalement un écran en verre dépoli. En plaçant ce petit appareil à peu près parallèlement à l'axe du faisceau et coupant celui-ci, on met en évidence très simplement les phénomènes de la réfraction dans les divers cas, celui de la réflexion totale, etc., et les faits signalés sont aisément compris.

Le faisceau est obtenu par la lanterne de projection, dont l'usage est généralement répandu maintenant : une lentille cylindrique ou seulement sphérique pour donner au faisceau la forme la plus convenable, des écrans convenablement entaillés suffisent à fournir le faisceau sur lequel on opère. Le reste est également fort simple et peu coûteux.

Nous ajouterons que, pour rendre commodes les expériences avec la cuve de réfraction, il importe que le faisceau horizontal fourni par la lanterne puisse tomber sur la surface de réfraction dans une direction quelconque ; nous avons combiné, à cet effet, un système articulé comprenant deux miroirs et qui satisfait absolument à cette condition.

Dès l'année 1877-1878, nous avions essayé un mode d'expérimentation analogue en coupant simplement les faisceaux par le tableau noir ; mais ce n'est que de l'an dernier (1879) que, par l'emploi de l'écran dépoli, nous sommes arrivés à des résultats véritablement satisfaisants.

Nous croyons devoir ajouter que, à l'Exposition universelle de 1878, M. Rosenberg présentait des appareils analogues, au moins comme but, à ceux dont nous nous occupons aujourd'hui ; ces appareils schématiques étaient conçus dans le même esprit que ceux que nous avons présentés en 1874, et, pour la reproduction lumineuse des figures de l'Optique géométrique, les résultats qu'il

obtenait ne nous ont pas paru plus satisfaisants que ceux que nous avions essayés sur un tableau vertical et exigeaient une installation irréalisable dans le cas d'un auditoire nombreux et que nous avons pu éviter par la disposition que nous venons de décrire.

Synchronisme électrique de deux mouvements quelconques; par M. Marcel Deprez.

Les divers dispositifs imaginés jusqu'à présent pour reproduire exactement le mouvement d'un mobile ne paraissent pas répondre aux exigences du but à atteindre, surtout lorsque ce synchronisme doit s'appliquer à des appareils de précision dont les indications doivent être transmises avec la plus grande netteté et la plus rigoureuse exactitude.

Ce problème présente du reste de grandes difficultés, et l'on peut en trouver la preuve dans les efforts des inventeurs de télégraphes autographiques (Caselli, Lenoir, d'Arlincourt, Mayer, etc.), qui n'ont pu résoudre la question que pour le cas seulement où les deux mobiles qui doivent se mouvoir synchroniquement sont animés d'une vitesse constante. S'il s'agit de la reproduction d'un mouvement non uniforme, la solution reste encore à trouver. Je ferai toutefois une exception pour ce que j'ai fait dans ce sens au wagon-dynamomètre de la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

Après avoir longuement et patiemment cherché la solution complète du synchronisme, j'ai pu arriver maintenant à la résoudre au moyen de la disposition suivante, dont voici la description :

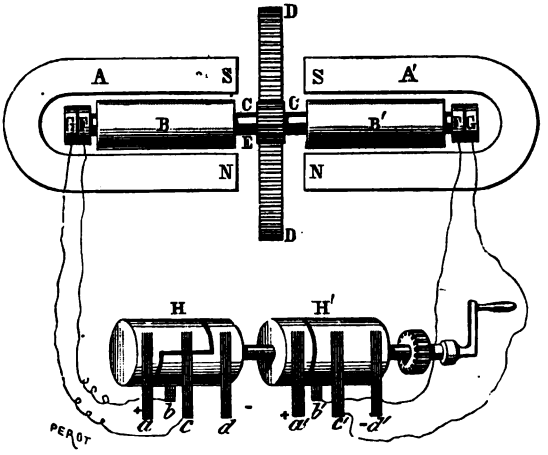
Récepteur. — Sur un socle de bois (*fig.* 1) sont placés pôles à pôles deux aimants en fer à cheval, à lames superposées, A, A′, dans l'axe de chacun desquels sont disposées deux bobines B, B′ du genre Siemens. Ces bobines sont montées à angle droit sur un même arbre C, c'est-à-dire que l'axe transversal du noyau en fer doux de l'une des bobines est calé sur l'arbre à 90° par rapport à l'axe du noyau de l'autre bobine, de façon que, lorsque l'une d'elles présente l'armature de fer doux aux faces internes de l'aimant, l'autre bobine, au contraire, présente aux mêmes faces du second aimant sa partie recouverte de fils.

Un pignon E, monté sur l'arbre C, engrène avec une roue dentée B, destinée à transmettre le mouvement de rotation pris par les bobines.

Le frotteur F est isolé du frotteur G, et ainsi des deux autres frotteurs de la bobine B'.

Ces frotteurs mettent ainsi en communication les deux bobines

Fig. 1.



avec les commutateurs transmetteurs HH', qui sont, à leur tour, disposés comme suit :

Transmetteur. — Ces commutateurs sont montés sur le même axe.

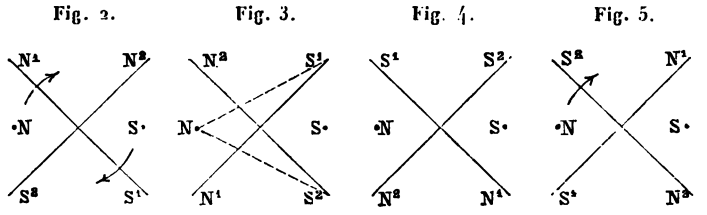
Le commutateur H se compose de deux coquilles isolées l'une de l'autre et qui sont fixées à angle droit par rapport aux deux coquilles également isolées du second commutateur H'. Ils sont tous deux munis de quatre balais *a*, *b*, *c*, *d*, *a'*, *b'*, *c'*, *d'*.

Les balais *a*, *a'*, *d*, *d'* sont reliés à la pile, les balais *b*, *c* avec les frotteurs F et G de la bobine B, ceux *b'*, *c'* avec les frotteurs F', G de la bobine B'.

On voit qu'à l'aide de cette disposition le courant qui se rend aux bobines est renversé deux fois à chaque révolution des commutateurs, mais non pas au même moment pour chacune des bobines, puisque, comme il est dit plus haut, les plans passant par les géné-

ratrices isolantes des deux commutateurs font entre eux un angle dièdre de 90°.

S'il n'y avait qu'une seule bobine, elle se placerait, sous l'influence de ce courant, dans la direction des pôles; mais, comme il y en a deux et qu'elles sont conjuguées à angle droit, il est clair qu'elles prendront une position telle, que le plan moyen des noyaux de chacune d'elles fera un angle de 45° avec le plan passant par les quatre pôles des deux aimants (¹).



Toutefois, cette position d'équilibre ne peut subsister qu'à la condition d'être stable. Nous allons chercher comment cette condition peut être remplie, et, pour cela, nous représenterons par les *fig.* 2, 3, 4 et 5 les quatre positions possibles des deux bobines.

Dans la *fig.* 2, cette stabilité est-elle obtenue? Non, car le pôle nord des aimants attire le pôle sud d'une des bobines et repousse en même temps le pôle nord de l'autre. Des phénomènes analogues se produisent si l'on considère le pôle sud des aimants.

Dans la *fig.* 3, l'équilibre paraît possible, puisque les pôles N et S des aimants repoussent simultanément les pôles de même nom des bobines qui leur font face; mais cet équilibre est absolument instable, car, si nous imprimons un mouvement de droite à gauche à l'une des bobines, on voit que le moment moteur de la force NS^1 va augmenter et que, au contraire, le moment résistant de la force NS^2 va diminuer.

Dans la *fig.* 4, le cas de non-équilibre est le même que celui de la *fig.* 2.

La *fig.* 5 seule donne la solution de l'équilibre stable.

En effet, si nous dévions la bobine S^2N^2 dans le sens de la flèche,

(¹) Nous supposons, dans tout ce qui va suivre, que les aimants A, A' (*fig.* 1) ont leurs pôles de même nom en regard.

on remarque que le moment de l'effort attractif exercé par N sur S^2 va en augmentant, tandis que le contraire a lieu pour le moment de l'effort exercé par N sur S^1.

L'ensemble des bobines tend donc à revenir à sa position primitive.

Si l'on déviait les bobines en sens contraire à la flèche, le même raisonnement prouverait semblablement que l'ensemble des bobines tendrait encore à revenir dans sa position d'équilibre.

Il est donc démontré que la *fig.* 5 représente la position d'équilibre stable et qu'il ne peut exister que celle-là.

Dressons maintenant un Tableau symbolique des courants envoyés par les commutateurs dans chacune des deux bobines, et désignons par $+a$ ou $-a$ ceux envoyés dans la première bobine et par $+b$ ou $-b$ ceux envoyés dans la deuxième :

	1re RÉVOLUTION DES COMMUTATEURS par quart de tour, en partant de la fente du commutateur H.				2e RÉVOLUTION DES COMMUTATEURS par quart de tour, en partant de la fente du commutateur H.				
	1er.	2e.	3e.	4e.	1er.	2e.	3e.	4e.	
1re bobine...	$+a$	$+a$	$-a$	$-a$	$+a$	$+a$	$-a$	$-a$	...
2e » . .	$+b$	$-b$	$-b$	$+b$	$+b$	$-b$	$-b$	$+b$	. .

On voit facilement qu'à chacune des positions des commutateurs indiquées dans le Tableau correspond une position d'équilibre stable *et une seule* de l'ensemble des bobines ; chaque fois que les commutateurs prendront une quelconque des positions ci-dessus, les bobines prendront la position correspondante.

Pour être plus explicite, soient a, b, c, d les quatre positions des commutateurs pendant un tour entier et a', b', c', d' les quatre positions correspondantes des bobines.

Si du troisième quart de tour c on passe au quatrième quart de tour d ou au deuxième quart de tour b, les bobines prendront successivement les positions correspondantes suivante ou précédente d' ou c' et ne pourront pas en prendre d'autres, puisque, comme nous l'avons expliqué plus haut, à chaque position du commutateur ne correspond qu'une seule position d'équilibre de l'ensemble des bobines.

Il résulte de là que l'ensemble des bobines prendra un mouvement de rotation direct ou rétrograde suivant que le mouvement de

rotation de l'arbre des commutateurs sera lui-même direct ou rétrograde.

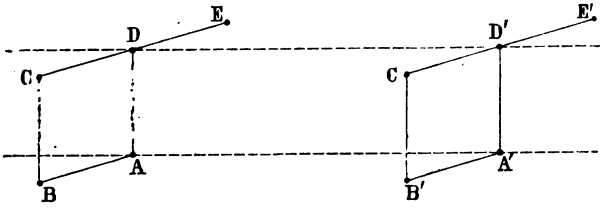
Le problème de la reproduction complète à distance d'un mouvement de rotation donné est donc ainsi complètement résolu.

Lorsque le mouvement de rotation que l'on veut reproduire a lieu toujours dans le même sens et avec une vitesse dont les limites extrêmes ne sont pas trop écartées, l'appareil peut se réduire à un seul commutateur et à une seule bobine, les points morts de cette dernière étant franchis, grâce à l'inertie. Cette considération s'applique surtout au cas où l'on veut transmettre à distance le travail développé par le courant d'une machine d'induction à courants alternatifs.

La solution générale exposée d'abord permet de reproduire à distance, non seulement un mouvement de rotation, mais encore un mouvement quelconque.

Soient en effet (*fig.* 6) deux parallélogrammes articulés ABCD,

Fig. 4.



A'B'C'D' identiques et pouvant prendre toutes les positions possibles, le premier autour du point A et le second autour de A'. Si nous donnons au sommet C du premier une position quelconque dans l'espace, à cette position correspondront deux angles parfaitement déterminés de la tige AB et de la tige AD avec l'horizontale passant par A, et, si nous faisons décrire au point C un cercle quelconque, ces angles varieront suivant une loi qu'il suffira de reproduire dans le second système A'B'C'D' pour que le point C' décrive une courbe identique à celle décrite par C.

Or, si la tige AD communique à une paire de commutateurs conjugués à angle droit un mouvement de rotation qui pourra être amplifié cent fois, par exemple, au moyen d'un engrenage, et si les courants qui ont tourné ces commutateurs sont ensuite envoyés dans une paire de bobines également conjuguées à angle droit, mais

dont le mouvement de rotation est diminué cent fois avant d'être transmis à la tige A'D', il en résultera nécessairement que la tige A'D' décrira les mêmes angles que AD et qu'elle ne pourra jamais être en retard sur cette dernière de plus de $\frac{1}{400}$ de tour.

Le même dispositif étant appliqué à la tige AB, on conçoit aisément que, si l'on imprime au point C un mouvement quelconque, ce mouvement aura pour effet de faire décrire aux tiges AB et AD des angles qui seront reproduits, à moins de 1° près, par A'B' et AD' et que, par suite, le point C' décrira la courbe décrite par C.

Cet appareil, qui constitue un véritable pantographe électrique, résout donc complètement le problème de la reproduction à distance d'un mouvement quelconque.

Au lieu de multiplier par des engrenages la vitesse imprimée aux commutateurs, on peut employer la disposition suivante.

De deux disques dentés emboîtant l'un dans l'autre, l'un, que nous désignerons par *a*, est en communication permanente, par un ballai *a'* frottant sur sa partie pleine, avec le courant positif, l'autre *b* avec le courant négatif. Un autre balai *a''*, en contact avec une des dents et communiquant d'ailleurs avec un des bouts de la bobine du récepteur, fait entrer le courant dans cette bobine qu'il parcourt ensuite tout entière pour arriver au disque *b* par le balai *b''* et retourner à la pile par *b'*. Si l'on fait avancer ou reculer le secteur denté d'une division, le courant passera du balai *a'* dans *b''*, parcourra les hélices de la bobine en sens contraire, pour revenir par *a''* au balai *b'* et à la pile. Il y aura donc inversion de courant chaque fois que le secteur denté avancera ou reculera de l'intervalle d'une dent. Les mêmes phases de phénomène se reproduiront également pour l'autre secteur.

Un nouveau photomètre; par M. D. Napoli.

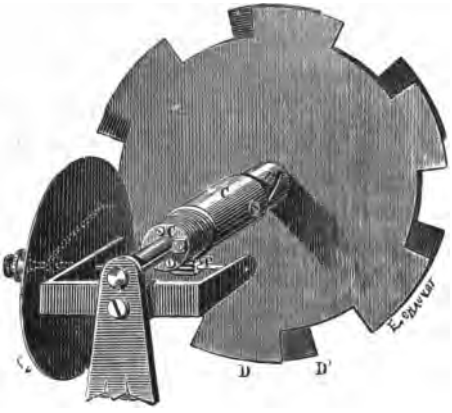
Le photomètre que j'ai l'honneur de présenter diffère particulièrement des autres photomètres en usage en ce que les deux sources lumineuses sont également éloignées de l'appareil et peuvent être placées à une distance quelconque.

Le principe qui sert à l'évaluation des intensités lumineuses est basé sur les phénomènes suivants.

(A) Si, par un trou pratiqué dans la paroi d'une chambre noire, on reçoit sur la paroi opposée la lumière émise par une source lumineuse quelconque, la surface éclairée paraît également intense dans toute son étendue, à la condition, bien entendu, que les rayons du faisceau soient parallèles autant que possible. En réduisant ce trou de moitié, la quantité reçue sur le fond de la chambre noire sera également de moitié ; il en sera de même pour une diminution quelconque de l'ouverture, et la lumière reçue sur la paroi qui sert d'écran sera directement proportionnelle, en quantité, à la diminution correspondante du trou.

(B) Si, maintenant, on remplace la paroi non éclairée de la chambre noire par un disque opaque percé d'un trou à une distance

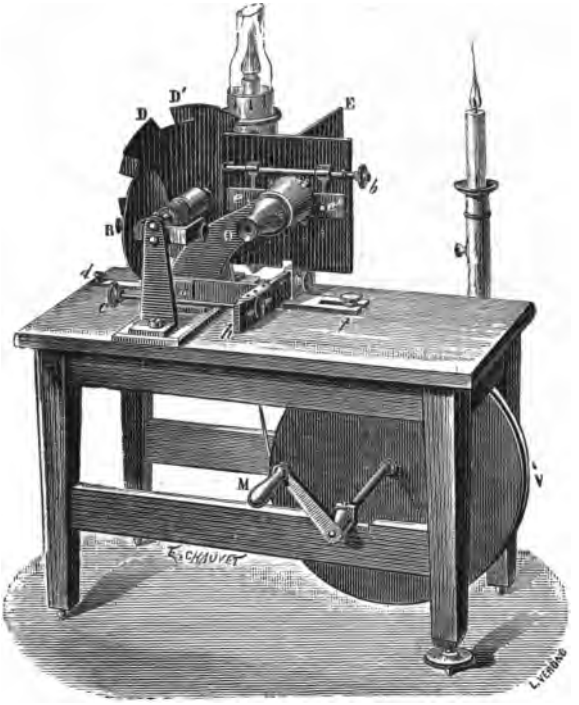
Fig. 1.



quelconque du centre, et si l'on dispose une source lumineuse en regard de ce trou, on verra, lorsque le disque sera mis en mouvement, l'image se déplacer circulairement sur l'écran et former, par suite de la persistance de l'image sur la rétine, un anneau uniformement éclairé. L'intensité lumineuse de cet anneau est indépendante de la vitesse imprimée au disque : diverses considérations d'ordre physiologique qu'il serait trop long d'expliquer ici le prouvent surabondamment, ainsi que l'expérience. Cette intensité ne dépend que de la surface du trou, et si, pendant que le disque

tourne, on augmente ou on diminue ce trou, l'anneau sera éclairé plus ou moins et proportionnellement à la grandeur de l'ouverture, comme, du reste, cela a été dit en (A) (¹).

Fig. 2.



Les principes (A) et (B) ci-dessus étant donnés, voici comment j'ai disposé les différents organes du photomètre.

(¹) Je dois, avant d'aller plus loin, déclarer que ces divers phénomènes ont été observés déjà par d'éminents physiciens, et leur ont même servi à l'explication ou à l'étude de quelques théorèmes d'optique. M. Aubert, de Breslau, s'en est servi pour des expériences démontrant la persistance de l'image sur la rétine; le professeur Gariel, pour démontrer qu'on pouvait diminuer l'intensité lumineuse dans un rapport connu, mais je ne crois pas qu'on en ait jusqu'alors fait une application industrielle aux expériences de photométrie. Depuis que je m'occupe de cette question, et avant même que mon appareil fût présenté à la Société de Physique, on m'a fait remarquer que l'idée sur laquelle il repose, et qu'un jouet d'enfant (le kinétiscope) m'avait, je l'avoue, suggérée, avait servi de point de départ à quelques expériences, quelques essais d'un intérêt différent du mien.

En DD′ (*fig.* 1) sont deux disques de même diamètre, juxtaposés et échancrés en créneaux sur leur pourtour; ils se meuvent l'un sur l'autre, de façon à pouvoir présenter des espaces vides ou des pleins plus ou moins grands, à la volonté de l'observateur.

Un de ces disques, D, est calé sur un axe mis en rotation par une manivelle M (*fig.* 2), un volant V et une corde sans fin.

Le second disque D′ est mobile sur l'axe du disque D et porte un cylindre à rainure hélicoïdale dans laquelle s'engage un pivot tenu sur le manchon C (*fig.* 1), lequel, au moyen d'un clavetage, peut se mouvoir longitudinalement dans une seconde rainure pratiquée sur l'axe du disque D et suivant une génératrice.

Ce manchon C est terminé par une crémaillère circulaire, actionnée par le bouton B et le pignon P.

On comprend qu'en tournant ce pignon la crémaillère du manchon avance ou recule, suivant le sens donné, et le pivot qui s'engage dans la rainure hélicoïdale du cylindre du disque D force ce dernier à se déplacer sur le disque D′ d'une quantité dépendant de l'inclinaison du pas de vis. Ce pas de vis est calculé de façon qu'à une course totale de va-et-vient du manchon correspond un recouvrement complet des deux disques l'un sur l'autre, interceptant ainsi toute lumière ou ouvrant complètement tous les créneaux.

Les recouvrements ou les ouvertures, à quelque degré que ce soit, peuvent avoir lieu, les disques étant en mouvement ou en repos. Au bout de l'axe du pignon P, en B, une aiguille indique, sur un cadran divisé en 180°, l'importance exacte de chacune des ouvertures.

En O (*fig.* 2), un oculaire est placé au sommet d'une lunette, en forme de cône, bouchée à l'autre extrémité par un verre dépoli. Dans l'axe vertical de cette lunette se trouve, au delà du verre dépoli, un écran opaque E destiné à séparer les rayons émis par la lumière type des rayons provenant de la source à étudier. Cet écran peut, au moyen du bouton *c* et de la crémaillère *h*, avancer ou reculer, et rendre ainsi les deux images tangentes sur le verre dépoli, de manière à fournir une estimation aussi commode que précise.

Un autre bouton *b* permet de rapprocher plus ou moins les deux plaques *e*, *e′* qui servent à augmenter ou à diminuer le champ lumineux, au gré de l'observateur.

Pour se servir de l'instrument, on place les deux lumières à une distance égale l'une et l'autre du verre dépoli et sous un angle tel que l'écran E forme la bissectrice de cet angle. De la main droite, on tourne la manivelle M à environ un tour par seconde, ce qui donne pour les disques D, D' une vitesse de 30 tours. On fixe l'œil à l'oculaire O, et de la main gauche, à l'aide du bouton B, on ouvre ou on resserre les échancrures des disques, pour obtenir sur le verre dépoli deux images lumineuses de même intensité. Les rayons de la lumière type placée à la droite arrivent directement sur le verre dépoli; ceux émis par la source à étudier et passant par les échancrures données aux disques arrivent à la gauche.

L'aiguille du cadran indique le nombre de degrés de l'ensemble des ouvertures. Le rapport de ce nombre à la circonférence (360°) donne le chiffre d'unités en fonction de la lumière type. Si ce quotient est 3, 4, 5, par exemple, cela revient à dire que la source étudiée est 3, 4, 5 fois plus intense que la lumière prise comme unité.

On peut objecter que cette évaluation, qui repose, comme dans tous les autres photomètres, sur l'appréciation de l'œil de l'observateur, sera quelquefois sujette à erreur. Le cas peut certainement se présenter; mais il sera toujours loisible de corriger les observations en les refaisant plusieurs fois, ce qui peut avoir lieu très aisément et très rapidement avec cet appareil, par ce motif qu'on n'a pas à déplacer les lumières.

La lentille à foyer variable du Dr Cusco; par M. C.-M. Gariel.

Depuis que l'étude de la vision a été entreprise d'une manière rationnelle, on sait qu'il faut placer au premier rang, parmi les propriétés qui distinguent l'œil des autres instruments d'optique propres à donner des images réelles, celle que l'on désigne sous le nom d'*accommodation*, et qui, par des modifications dans les courbures de la lentille cristallinienne, amène des changements notables dans la grandeur de la distance focale et permet, entre certaines limites, de maintenir sur la rétine les images nettes d'ob-

jets dont la distance à l'œil vient à varier. On sait que cet effet, dont nous n'avons pas à rechercher ici les conditions physiologiques, est dû à une déformation du cristallin qui amène une légère augmentation de courbure de la face antérieure, ainsi qu'un déplacement et une augmentation de courbure notable de la face postérieure. Jusqu'à présent, on n'était pas arrivé à construire des lentilles subissant des déformations analogues et donnant naissance, par conséquent, aux mêmes effets. M. le Dr Cusco, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, à Paris, est parvenu, dès 1879 (1), à obtenir une lentille à distance focale variable. Depuis cette époque, il l'a étudiée et perfectionnée, et j'ai l'honneur aujourd'hui de la présenter en son nom à la Société de Physique.

La lentille du Dr Cusco utilise l'élasticité du verre et, en particulier, ce fait qu'une lame de verre appuyée à ses extrémités et supportant en tous ses points une pression uniforme prend une courbure régulière qui, pour des flexions limitées, ne s'écarte pas beaucoup d'une courbure circulaire.

L'appareil consiste essentiellement en un tambour métallique, de forme cylindrique, fermé à ses deux bases par deux lames de verre choisies parmi les plus régulières et maintenues contre les parois latérales par une fermeture étanche, à l'aide de caoutchouc. L'intérieur du tambour peut être isolé à l'aide d'une tubulure munie d'un robinet; sur cette tubulure on place un tube qui apportera les variations de pression et qui, d'autre part, met l'appareil en communication avec un manomètre à eau ou à mercure, suivant le degré d'exactitude que l'on veut atteindre dans les mesures. La pression est produite par l'action d'une poire en caoutchouc contenant aussi de l'eau et qu'il suffit de presser pour obtenir une variation notable : on peut d'ailleurs combiner la pression plus ou moins forte obtenue directement ainsi avec celle qui résulte des déplacements verticaux de la poire, et, par suite, on peut expérimenter dans des limites assez étendues.

Lorsque l'on veut se servir de cet instrument, on le remplit entièrement d'eau ou d'un liquide transparent, que l'on introduit par une ouverture spéciale que l'on ferme ensuite hermétiquement. Si le liquide n'est alors soumis à aucune pression, les lames restent

(1) L'Académie de Médecine, mars 1879.

planes et l'appareil constitue une masse réfringente à faces parallèles; on est assuré que cette condition est remplie lorsque, dans le manomètre à eau, le niveau du liquide est à la hauteur du centre de la lentille. On peut alors vérifier facilement que le système ne produit aucune action convergente ou divergente, en s'assurant que, placé devant une lentille, il ne modifie pas sa distance focale.

Si l'on exerce alors une pression sur le liquide, même faible, le verre, en vertu de son élasticité, cède quelque peu, et d'autant plus facilement que l'on considère des points plus éloignés de la périphérie, de telle sorte que les deux lames deviennent courbes. Si ces lames ont la même élasticité dans tous les sens, les surfaces obtenues sont de révolution, et si, ce qui arrive en général, les lames ont la même épaisseur, les deux courbures sont égales : on a donc une lentille biconvexe analogue, comme forme, à celles qu'on emploie le plus souvent. On pourrait évidemment, si cela présentait quelque intérêt, avoir une lentille à courbures inégales, en mettant sur une des faces un verre plus épais que sur l'autre.

L'effet de la pression se manifeste nettement, par exemple de la manière suivante. Ayant obtenu une image réelle sur un écran à l'aide d'une lentille convergente devant laquelle on place l'appareil de M. Cusco, si l'on vient à exercer une pression à l'intérieur de celui-ci, l'image se trouble immédiatement, et, pour l'obtenir nette à nouveau, il faut rapprocher l'écran, ce qui prouve que le système optique est devenu plus convergent. On peut d'ailleurs, en augmentant encore la pression, diminuer la distance focale; il y a cependant une limite qu'il ne faut pas dépasser, car les lames se briseraient : cette limite, naturellement, dépend de la nature et de l'épaisseur du verre.

On peut obtenir des effets opposés avec cet appareil. Ramenons, en effet, la pression intérieure à être nulle, comme nous l'avons dit tout à l'heure, puis diminuons-la encore en abaissant le niveau du liquide dans le réservoir au-dessous de sa position primitive : à la hauteur de la lentille, la pression atmosphérique extérieure sera plus considérable que la pression intérieure, et, par suite, les lames se courberont vers l'intérieur, constituant alors une lentille divergente biconcave.

L'appareil, tel que nous venons de le décrire, peut être employé très avantageusement pour expliquer expérimentalement la théorie

de la vision en ce qui touche à l'accommodation; il permet aussi facilement de montrer les variations que subissent, dans l'accommodation, les images de Sanson, images produites par réflexion sur les deux surfaces de la lentille. Mais il peut être utilisé d'une manière plus précise et servir à des mesures; à cet effet, il faut qu'il soit gradué, c'est-à-dire que l'on puisse, pour un état quelconque, déterminer la distance focale ou mieux la puissance en dioptries d'après la pression lue sur le manomètre.

Pour atteindre ce résultat, M. Cusco emploie la méthode générale utilisée dans les photomètres : chercher une disposition telle que l'on obtienne une image réelle égale à l'objet. On sait alors que l'image et l'objet sont situés de part et d'autre à la même distance de la lentille et au double de la distance focale. Seulement, comme la lentille variable n'a pas une grande puissance et que son foyer est toujours assez loin, on y adjoint une lentille connue et l'on cherche la puissance du système complexe. Comme on sait que la puissance en dioptries d'un système de deux lentilles au contact est la somme algébrique des puissances des deux lentilles, on déduit facilement la puissance de la lentille variable, et par suite sa distance focale, en fonction de la pression. On construit ainsi une Table numérique ou un Tableau graphique qui servira dans toutes les expériences de mesure.

Nous ne pouvons indiquer ici toutes les applications dont est susceptible l'appareil du Dr Cusco, et nous devons nous borner à signaler les principales. On comprend, par exemple, qu'il permettra très facilement de déterminer la puissance d'une lentille donnée en détruisant exactement l'effet qu'elle produit : ce procédé sera plus précis et sans doute plus rapide que celui qui consiste à employer successivement des verres différents et connus.

La lentille à foyer variable, remplie de liquide de réfringence convenable, pourra également être utilisée pour achromatiser une lentille donnée et remplir, dans ce cas, le même rôle que fait le prisme à angle variable pour l'achromatisme des prismes.

Mais c'est surtout au point de vue de la physiologie de la vision que cet appareil paraît appelé à rendre des services, et c'est dans ce but que les lentilles sont souvent accouplées de manière qu'il y en ait une devant chaque œil. On comprend, sans que nous puissions insister ici, que, grâce à la variation immédiate de puissance,

il soit possible de suivre l'accommodation dans toutes ses modifications; que, en particulier, il sera facile d'exécuter des recherches sur la durée de ce phénomène, etc. Ce sont là des questions spéciales qu'il nous suffisait de signaler rapidement.

Ajoutons, pour terminer, que M. le Dr Cusco se propose d'appliquer la même idée à la construction d'un miroir courbe dont on pourra faire varier la courbure entre certaines limites dans un sens ou dans l'autre : il suffira d'argenter la surface antérieure de l'une des lames de verre. L'appareil sera présenté à la Société ultérieurement.

SÉANCE DU 2 AVRIL 1880.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures.

Cette séance est consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et les appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance. Les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées.

Accélérographe de M. Marcel Deprez, appareil pour la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. Sebert.

Télémètre. — Campylomètre; par M. Gaumet.

Effet Peltier au contact d'un liquide et d'un solide; par M. Bouty.

Illusion d'optique. Aimantation de la plaque des téléphones; par M. Silvanus Thompson.

Différence de phase qui existe entre les vibrations de deux téléphones associés; par M. Kœnig.

Nouveau brûleur à gaz de la Compagnie parisienne, présenté par M. Brisac.

Spectroscope à très grande dispersion avec inscripteur des raies; par M. Thollon.

Saccharimètre modifié. Nouvel éolipyle. Prismes composés; par M. Laurent.

Nouvelle disposition de la lampe électrique de Werdermann. Pantographe planimétrique. Nouveau photomètre; par M. Napoli.

Spectroscope pour l'étude de la fluorescence; par M. Lamansky.

Galvanomètre à aiguilles flottantes. Pile au chlorure de chaux. Pile secondaire actionnant une bobine d'induction. Radiomètre électrique; par M. Niaudet.

Phonographe à plateau; par M. Saint-Loup.

Microscope polarisant; par M. Lutz.

Influence de l'électricité sur l'évaporation; par M. Gernez.

Micromètre vibrant; par M. Mercadier.

Anneaux colorés produits à la surface du mercure; par M. Guébhard.

Expériences de M. Crookes.

Renversement des raies; par M. A. Duboscq.

Compression des mélanges gazeux. Préparation de l'acide carbonique liquide; par M. Cailletet.

Balance d'induction de M. Hughes. Appareil de M. Cailletet (expérience de M. Ogier sur la compression d'un mélange d'hydrogène phosphoré et d'acide chlorhydrique). Boussole Pouillet pour la mesure des forts courants, présentée par M. Ducretet.

Photomètre pour mesurer la lumière diffuse; par M. Javal.

Rhéomètre à indications rapides et appareil mesurant la quantité d'énergie qui passe dans un circuit. Synchronisme électrique de deux mouvements quelconques. Machine et moteur électromagnétique modifiés; par M. Marcel Deprez.

Frein funiculaire; par M. Carpentier.

Expériences de démonstration d'optique. Section longitudinale des faisceaux; par M. Gariel.

Lentille à courbures variables; par M. Cusco.

Emploi du spectrophotomètre pour la mesure des hautes températures; par M. Crova.

Nouvelle disposition du régulateur électrique de M. Serrin.

Nouvel électromètre capillaire. — Producteur d'électricité, basé sur la capillarité; par M. Debrun.

Éclairage de l'intérieur des cavités du corps; par M. Trouvé.

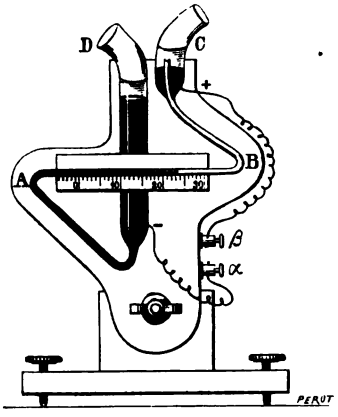
Expériences d'éclairage électrique avec les lampes Werdermann.

Note sur un nouvel électromètre capillaire; par M. E. Debrun.

En répétant la première expérience de M. Lippmann, je me suis aperçu que, dans un tube de $0^m,001$ de diamètre, le changement de niveau du mercure était de $0^m,003$ pour une variation de force électromotrice de 1 volt (de 0^{volt} à 1^{volt}). Or, pour rendre l'appareil sensible, il suffisait d'amplifier les déviations de la colonne. M. Lippmann a employé un microscope; le problème est dans ce cas parfaitement résolu. J'ai pensé, au contraire, qu'en inclinant le tube suffisamment on aurait la sensibilité que l'on désirait. Dans mes premiers essais j'employais des tubes cylindriques; dans ce cas, le zéro était un peu incertain. Maintenant j'emploie des tubes coniques et l'électromètre fonctionne à souhait.

J'ai donc construit l'appareil suivant (*fig.* 1). Un tube de verre

Fig. 1.



de $0^m,007$ de diamètre a été étiré de manière à présenter un tube capillaire d'un diamètre d'un fort millimètre environ, légèrement conique, et de $0^m,2$ de long. Le tube capillaire a été retourné en zigzag, comme dans la figure ci-jointe. La branche capillaire AB doit avoir environ $0^m,1$ de long et fait à peu près un angle de 8° à 10° avec le tube vertical. A la quatrième courbure le tube capillaire a été redressé de manière à être vertical et il traverse le fond

d'une cuvette en verre de $0^m,007$ de diamètre. Dans le fond est mastiqué le fil de platine β qui amènera l'électricité positive. Un fil α destiné à amener l'électricité négative est soudé dans le tube D. Derrière le tube AB est placée une planchette divisée en millimètres.

Toute cette verrerie est placée sur un support articulé qui permet de donner à AB l'inclinaison que l'on désire, car c'est uniquement de cette inclinaison que dépend la sensibilité de l'électromètre.

Pour remplir l'électromètre, on réunit α et β par un fil métallique, on ajoute de l'eau acidulée au dixième dans C jusqu'en dessus de l'extrémité du tube capillaire, puis on ajoute dans C quelques gouttes de mercure pur. Ensuite on verse un peu de mercure dans le tube D ; en soufflant en D on chasse la bulle d'air comprise dans le tube et en aspirant modérément on mouille les parois du tube capillaire ; il ne reste plus qu'à ajouter par le tube D du mercure goutte à goutte jusqu'à ce que les trois quarts du tube AB soient remplis. On ajoute en D quelques gouttes d'eau acidulée pour préserver le mercure du contact de l'air. L'instrument est alors prêt à fonctionner..

Cependant on peut le trouver trop ou pas assez sensible ; il suffit alors d'incliner le tube dans un sens ou dans l'autre, ce qui permet facilement d'atteindre une sensibilité de plus de $\frac{1}{300}$ de volt. Toutes ces précautions sont absolument indispensables, mais ne présentent aucune difficulté. Si l'on ne veut prendre cet instrument que comme un électroscope simple, il n'y a rien autre chose à faire ; mais, si l'on veut s'en servir comme d'appareil de mesure, il faut le graduer par parties d'égale force électromotrice. Le procédé de graduation le plus simple est le suivant. On prend des éléments ainsi composés : amalgame de zinc, sulfate de zinc, sulfate de cadmium, amalgame de cadmium. Ces liquides se trouvent dans des vases séparés et sont réunis par un tube capillaire très fin. On a ainsi des éléments dont la force électromotrice est de $0^{volt},281$. Alors on introduit 1, 2, 3, 4 de ces éléments dans le circuit et l'on note à chaque fois la division à laquelle s'arrête le mercure. Il ne reste plus qu'à construire une courbe sur laquelle on se reportera quand on en aura besoin.

William Grosseteste
Ingénieur

Mesure spectrométrique des hautes températures;
par M. A. Crova.

L'étude de l'énergie des radiations émises par les sources calorifiques et lumineuses (¹) m'a conduit à proposer une méthode purement optique pour la détermination des hautes températures.

Deux corps solides ou liquides incandescents, ayant même pouvoir d'irradiation, ont en effet des températures égales lorsque les spectres des lumières qu'ils émettent sont identiques dans toute leur étendue, c'est-à-dire lorsque les intensités de toutes les radiations simples qui les composent sont rigoureusement égales, après que, par l'emploi de deux nicols, on aura affaibli le plus intense, de manière à rendre égales entre elles les intensités de deux radiations simples de même longueur d'onde, prises arbitrairement dans les deux spectres.

Prenons pour terme de comparaison la lumière d'une lampe à modérateur; mesurons, au moyen d'un spectrophotomètre, le rapport des intensités d'une même radiation rouge λ, prise dans la source de température inconnue et dans la flamme de la lampe; mesurons de même le rapport des intensités d'une radiation verte λ', prise dans ces deux mêmes sources. Si nous ramenons les intensités du rouge λ à être égales entre elles dans les spectres des deux sources, le rapport des intensités du vert λ' dans ces deux mêmes sources sera un nombre supérieur ou inférieur à l'unité, selon que la température de la source considérée sera plus élevée ou plus basse que celle de la flamme de la lampe. Si donc nous faisons arbitrairement égale à 1000 la température de la flamme de la lampe, celle de la source sera exprimée par un nombre supérieur ou inférieur à 1000 dans l'un ou dans l'autre cas. Si la température de la source lumineuse varie, les nombres ainsi obtenus constitueront une échelle optique nécessairement arbitraire des températures, dans laquelle la valeur du degré dépendra de la température de la

(¹) *Journal de Physique*, t. VII, p. 357. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVII, p. 322 et 979.

flamme de la lampe prise pour terme de comparaison et d'une certaine fonction des longueurs d'onde λ et λ'.

J'établis la correspondance de cette échelle avec celle des températures, exprimées en degrés C., d'un thermomètre à air, à réservoir en porcelaine, porté à divers degrés d'incandescence et pris comme source de radiations. La température de la flamme de la lampe s'obtient en élevant celle du thermomètre à air au degré où les deux spectres sont identiques dans toute leur étendue. La Table étant ainsi dressée, il suffira d'une simple mesure spectrométrique pour mesurer exactement la température d'un corps incandescent (fourneaux industriels, flammes des divers combustibles, soleil, étoiles, etc.) dont la lumière est due à l'irradiation d'un corps solide ou liquide, porté à une température élevée.

En adoptant comme radiations fixes celles dont les longueurs d'onde sont 673 et 523, voici les nombres qui représentent, *dans cette échelle arbitraire,* les *degrés optiques* de quelques sources lumineuses :

Lame de platine chauffée au rouge dans une lampe à gaz	524
» » au rouge blanc dans un chalumeau à gaz	810
Lampe à modérateur alimentée par l'huile de colza	1000
Bougie stéarique	1162
Gaz de l'éclairage (bec d'Argand)	1373
Lumière oxyhydrique (oxygène et gaz de l'éclairage sur la chaux)	1806
Lumière électrique (60 éléments de Bunsen)	3060
Lumière solaire	4049

Le carbone, le platine et la chaux incandescents, qui émettent la lumière de ces diverses sources, ont même pouvoir d'irradiation ; M. E. Becquerel a démontré, en effet, cette identité pour la porcelaine, le platine, le carbone et la magnésie (1).

Cette méthode pourra permettre d'étendre l'échelle des températures au delà de celles que peut mesurer le thermomètre à air et qui ne peuvent dépasser celle où la porcelaine se ramollit. Au-dessous de cette limite, il sera facile d'établir sa correspondance avec l'échelle centigrade ; au delà elle restera nécessairement arbi-

(1) E. Becquerel, *La lumière*, t. I, p. 78.

traire, mais toujours comparable à elle-même, et fournira des points de repère rigoureux ; on pourra l'étendre aux limites où la chaleur est assez forte pour volatiliser les corps les plus réfractaires; on peut même espérer aller au delà, en appliquant la méthode à la comparaison des intensités des radiations simples émises par les vapeurs incandescentes, pourvu que leur spectre ait plus d'une raie lumineuse.

SÉANCE DU 16 AVRIL 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Cusco (le Dr), Chirurgien à l'Hôtel-Dieu.
Hospitalier, ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris;
Leclerc, à Margny-lès-Compiègne (Oise);
Stoletow, professeur à l'Université de Moscou (Russie);
Weyher, ingénieur, à Pantin.

M. Niaudet, à propos de l'audiphone de M. Colladon qu'il montre à la Société, cite des observations d'où il résulterait qu'il y a avantage à ne pas arrondir les angles supérieurs de l'appareil.

M. Bertin présente une balance d'induction et un sonomètre de M. Hughes construits par M. Ducretet.

M. Bertin présente également une nouvelle disposition de la boussole des tangentes, construite par M. Ducretet.

M. Trouvé rappelle les considérations qui l'ont conduit à la construction de son stylet électrique, destiné à révéler l'existence d'une balle dans les chairs. Il fait des expériences à l'aide de son polyscope, destiné à éclairer les cavités naturelles ou artificielles du corps. La source électrique est une pile secondaire de M. Planté.

Sur la balance d'induction et le sonomètre électrique de M. Hughes; par M. A. Bertin.

M. Hughes a décrit, dans le *Philosophical Magazine* du mois de juillet 1879 (1), un double instrument qui donne lieu à des expériences extrêmement curieuses.

Son principe est le même que celui des *inductomètres différentiels* connus dans la Science depuis quarante ans. La balance d'induction, avec ses quatre bobines, est une modification de l'*inductomètre* de Dove (2), et le sonomètre, qui n'en a que trois, est la reproduction de l'*inductionomètre* de Matteucci (3). Mais l'instrument de mesure a été changé; M. Hughes a substitué au galvanomètre le téléphone, qui, d'abord, est plus sensible et qui, ensuite, ne confondant pas les deux courants induits direct et inverse, permet de supprimer l'emploi du disjoncteur.

I. — Balance d'induction.

Les *fig.* 1, 2 et 3 représentent l'appareil complet avec tous ses accessoires (4). La *fig.* 1 en est la projection horizontale; on y voit la balance en A et B, et en S*o* le sonomètre, dont nous ferons d'abord abstraction. La *fig.* 2 est une coupe verticale de la balance; la *fig.* 3 donne le détail des accessoires.

La *balance d'induction* se compose de deux paires de bobines A et B (*fig.* 1 et 2) (dans la *fig.* 1 il faut d'abord supposer enlevée la règle R qui est sur le support B). Les bobines inférieures *a* et *a'* (*fig.* 2) sont les bobines inductrices; elles sont reliées par un fil caché sous la table. Le sens de l'enroulement du fil y est tel qu'un courant qui les parcourt tourne dans les deux bobines en

---

(1) *Philosophical Magazine*, 5e série, t. VIII, p. 50 à 56.

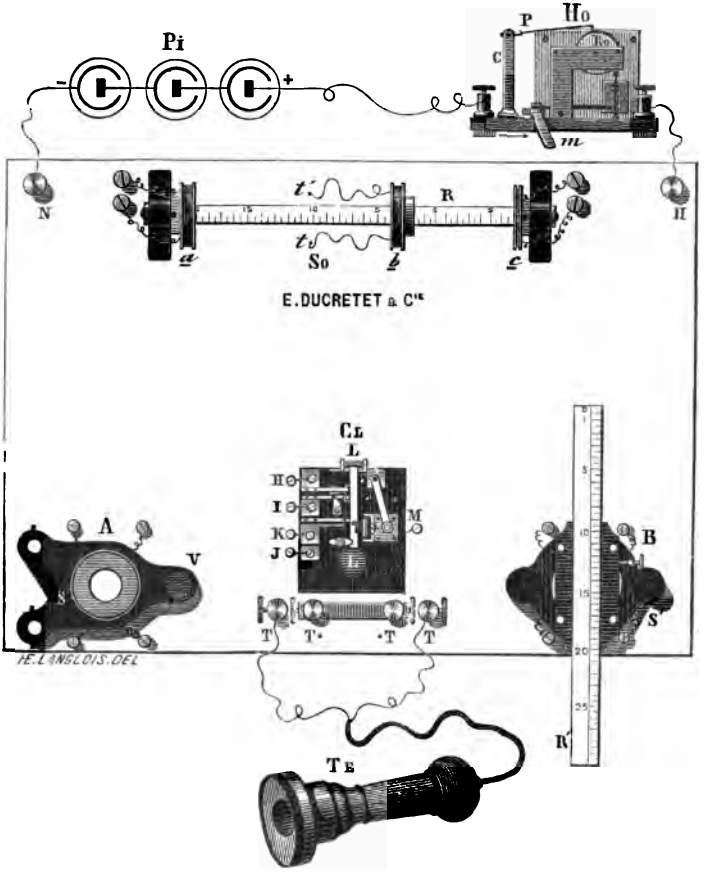
(2) *Annales de Poggendorff*, t. XLIX, p. 72; 1840. — *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. IV, p. 336.

(3) Présenté au Congrès de Florence, en 1841. *Voir* les *Leçons sur l'induction* de Matteucci, p. 45.

(4) Ces figures ont été prêtées par M. Ducretet, qui m'a procuré le nouvel appareil et qui a commencé à le reproduire.

sens contraires. Ce courant leur est amené, par des fils également cachés, de la pile P*i* (*fig.* 1), composée de 3 éléments Daniell, et il est interrompu par une roue dentée, mue par un mouvement d'horlogerie H*o*. Ce mouvement fait tourner d'une vitesse uni-

Fig. 1.

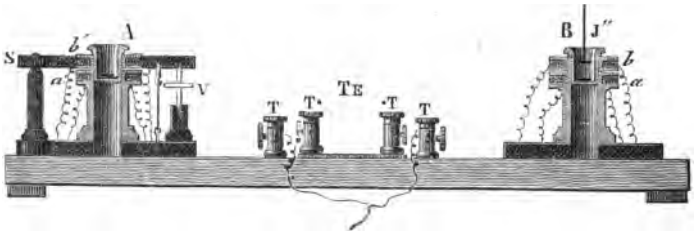


forme la roue dentée, qui communique avec l'un des pôles de la pile, pendant que l'autre pôle est attaché à un petit ressort en platine *p* qui frotte contre les dents de la roue. Quand l'horloge est en mouvement, le courant est successivement ouvert et fermé dans les deux bobines inductrices *a* et *a'*.

Au-dessus de ces bobines s'en trouvent deux autres *b* et *b'* (*fig.* 2)

qui reçoivent les courants induits; elles sont reliées entre elles par un fil, toujours caché sous la table, de telle sorte qu'un même courant les parcourrait en tournant dans le même sens. Leurs extrémités libres communiquent avec les boutons T, T, auxquels on attache les fils du téléphone T*e*; les bornes T, T permettent l'adjonction d'un second téléphone. Les bobines inductrices *a* et *a'* étant de sens contraires, les courants induits dans les bobines *b* et *b'* sont toujours de sens contraires, et le téléphone est silencieux si les deux courants induits sont égaux. Cette condition de silence n'est pas

Fig. 2.



obtenue immédiatement, parce que l'égalité des bobines n'est pas absolue; mais on peut toujours la produire en agissant sur la vis V, qui éloigne ou rapproche la bobine induite *b'* de la bobine inductrice *a'*: c'est toujours par là qu'il faut commencer.

On a cherché à rendre égales les deux bobines induites et les deux bobines inductrices; mais il n'est pas nécessaire que les premières soient égales aux secondes. C'est seulement une condition de maximum pour l'induction, qui est toujours proportionnelle au produit des nombres de spires des deux bobines agissant l'une sur l'autre. Les dimensions choisies par M. Hughes sont les suivantes : chaque bobine porte 100^{m} du fil n° 32; elles sont en buis; leur diamètre intérieur est de 3^{cm}, l'extérieur de $5^{cm},5$; leur épaisseur est de 1^{cm}, et dans chaque groupe A et B elles sont séparées par un intervalle de 5^{mm}. Pour que les deux groupes ne puissent pas réagir l'un sur l'autre, l'auteur conseille de les éloigner de 1^{m}; en réalité, leur distance n'est que la moitié de celle-là dans l'appareil qu'il nous a envoyé.

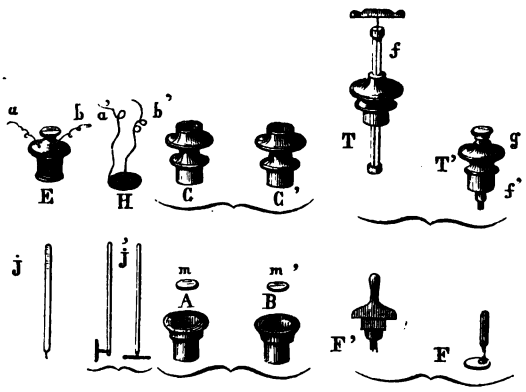
M. Hughes s'est proposé d'étudier à l'aide de la balance l'influence des masses métalliques sur l'induction. Cette influence a déjà fait l'objet de nombreux travaux qui commencent à Arago (1824) et

finissent à Verdet (1851); elle se manifeste d'une manière inattendue dans les nouvelles expériences. Nous allons les passer en revue.

On voit en C*l* (*fig.* 1) un organe très compliqué : c'est la *clef*. Elle n'est utile que pour mettre en communication successivement la balance et le sonomètre avec la pile. Qu'il nous suffise de savoir qu'en poussant la languette M, de manière que son extrémité libre repose sur le bouton métallique qui est à gauche, le circuit inducteur de la balance est fermé. Si ensuite nous poussons l'arrêt *m* de l'horloge, celle-ci se met en mouvement et le courant inducteur est interrompu régulièrement. Enfin mettons le téléphone à notre oreille et rendons-le silencieux en agissant sur la vis V ; nous serons prêts pour expérimenter.

Expérience 1. — Plaçons dans les deux groupes de bobines A et B (*fig.* 1 et 2) les deux godets en buis A et B (*fig.* 3). Si nous

Fig 3.



mettons dans le godet A une pièce de 1^{fr}, le téléphone, d'abord silencieux, deviendra très bruyant; une seconde pièce mise en B ne le fera pas taire en général, parce que les deux pièces ne sont pas parfaitement égales, soit en poids, soit en titre, soit en température, etc. On reconnaîtra facilement quelle est celle dont l'action est moindre en en approchant une pièce de 0^{fr},50 fixée normalement à l'extrémité d'une tige de bois J″ (*fig.* 3). D'un côté elle augmente le bruit du téléphone, de l'autre elle le diminue jusqu'à

l'anéantir : c'est de ce dernier côté que se trouve la pièce la plus faible.

La sensibilité de la balance est telle, que, si le téléphone est silencieux parce que les deux godets renferment des pièces égales, il suffira de souffler sur un des godets, ou d'échauffer légèrement une des deux pièces avec les doigts pour que le téléphone se fasse entendre. La plus petite différence de titre dans des monnaies égales en apparence se reconnaît également.

En opérant successivement sur des disques de même diamètre et de même épaisseur, on constate l'inégale action des divers métaux.

Les sons correspondant à chaque métal diffèrent non seulement par leur intensité, mais encore par leur tonalité. Ainsi le fer doux donne un son étouffé, tandis que l'acier trempé donne des sons très aigus. M. Hughes attribue cette différence entre les métaux à une différence dans la rapidité de leur action inductive.

Expérience 2. — Les masses métalliques agissent ici comme les diaphragmes que nous introduisons dans les bobines induites pour affaiblir la tension du courant induit, et ces diaphragmes eux-mêmes agissent comme une bobine intérieure, qui recevrait l'induction si elle était fermée et ne produirait aucun effet si elle était ouverte. Ce sont des phénomènes connus.

Enlevons le godet que nous avions mis en A et introduisons à sa place la bobine E (*fig.* 3), dont les bouts du fil peuvent être à volonté réunis ou séparés : s'ils sont séparés, le téléphone se taira ; s'ils sont réunis, il fera entendre un bruit intense.

Expérience 3. — Répétons l'expérience avec la bobine plate H. L'effet sera le même si elle est horizontale ; mais si elle est verticale, le téléphone sera silencieux, que la bobine soit ouverte ou fermée : c'est que les courants induits ne peuvent pas se produire dans un circuit perpendiculaire au courant inducteur.

Expérience 4. — La même chose a lieu avec les disques métalliques. La tige de bois J′ (*fig.* 3) est articulée à son extrémité et porte une pièce de 1^{fr} qui lui est parallèle. Si on la place horizontalement sur le groupe A, le téléphone parlera si la pièce est hori-

zontale; il se taira si la pièce est verticale et fera entendre un son d'intensité variable pendant qu'on tournera la tige sur elle-même.

Expérience 5. — Cette influence de la position du disque peut être facilement constatée sur tous les métaux non magnétiques ; mais, pour les métaux magnétiques, elle s'exerce en sens contraire. Prenons le disque F (*fig.* 3); il est en fer ou en nickel, et il porte latéralement une tige normale à sa surface. A l'aide de cette tige, je l'introduis dans la bobine A : l'effet sera très faible si le disque est horizontal, très fort au contraire s'il est vertical.

Expérience 6. — La même chose aura lieu avec une spirale plate en fer : l'effet sera très faible si la spirale est horizontale, qu'elle soit ouverte ou fermée, l'induction dans le fer étant faible ; le téléphone parlera au contraire très fort si cette spirale est verticale, et il sera encore indifférent de l'ouvrir ou de la fermer.

Expérience 7. — C'est que les métaux magnétiques peuvent agir de deux manières : comme diaphragmes, si leur dimension parallèle à l'axe de la bobine est petite, et comme aimants, si cette dimension est grande. Dans le premier cas, ils diminuent l'induction, dans le second cas ils l'augmentent. Cet antagonisme est mis en évidence par l'expérience suivante.

J'introduis le disque en fer F (*fig.* 3) entre les deux bobines *a* et *b'* du groupe A: l'effet, qui était faible quand le disque était dans le centre des bobines, devient très intense. J'introduis ensuite à côté, et cette fois dans l'axe des bobines, le faisceau de fil de fer attaché au support F' (*fig.* 3) : le téléphone, qui parlait très haut, parle maintenant tout bas, et on pourrait le faire taire en soulevant un peu le faisceau de fil de fer. Il est donc prouvé que ce faisceau agit en sens contraire du disque.

Expérience 8. — La balance rend sensible des variations de magnétisme qui doivent être très faibles. On le démontre avec les deux pièces T et T' (*fig.* 3). T' contient un fil de fer qui signale sa présence en A par le bruit du téléphone; T porte un fil plus long, qui est fixé par le bas et qui, à l'aide de la manette *f*, peut

être tordu. Placé en B, le fil T n'éteint pas complètement le bruit produit par le fil T′ en A ; mais il suffit de tordre légèrement le fil T pour que le téléphone redevienne silencieux.

Expérience 9. — On trouve dans ces phénomènes un moyen de mesurer la limite de sensibilité de la balance. L'introduction dans les bobines d'une tige de bois J (*fig.* 3) portant à son extrémité un petit fil de fer de 1^{mm} de long et de $0^{mm},1$ de diamètre produit dans le téléphone un bruit appréciable. C'est même un moyen de reconnaître la délicatesse d'oreille nécessaire pour ces expériences : il faut qu'elle soit sensible à l'action de cette petite quantité de fer, dont le volume n'est pas le centième du millimètre cube, et qui ne pèse pas $\frac{1}{10}$ de milligramme.

On voit à l'autre extrémité de la même tige une petite spirale en cuivre très fin, d'un poids insignifiant, et qui forme un autre test-objet pour juger de la sensibilité de l'ouïe de l'observateur.

Après ce défilé des expériences que l'on peut faire avec la balance d'induction, le lecteur doit désirer apprendre comment on peut mesurer les effets produits. M. Hughes a imaginé pour cela plusieurs méthodes, dont aucune ne paraît le satisfaire complètement. Mais la méthode préférée est celle qui s'appuie sur l'usage du sonomètre ; nous sommes ainsi appelés à nous occuper de cet instrument.

II. — Sonomètre électrique.

Le sonomètre S*o* (*fig.* 1) est un inductomètre à trois bobines verticales *a*, *b*, *c*. Les deux extrêmes sont les bobines inductrices ; elles communiquent entre elles et avec le circuit général par des fils toujours cachés, suivant la détestable habitude des constructeurs ; elles sont tournées de manière que le courant les parcoure en sens contraires. Elles sont fixées aux extrémités d'une règle horizontale de 250^{mm} de longueur, sur laquelle court une troisième bobine *b*, qui est la bobine induite. Les extrémités de cette bobine sont attachées aux boutons *t*, *t′*, qui communiquent avec les boutons T, T auxquels est attaché le téléphone. Ces bobines ne sont plus égales. L'auteur ne donne pas d'indications sur leurs dimen-

sions : on peut seulement remarquer que la bobine *a* est la plus épaisse et la bobine *c* la plus mince; la bobine induite *b* est d'une épaisseur intermédiaire.

On ne peut pas mettre le sonomètre dans le circuit sans agir sur la clef C*l*. La partie principale de cette clef est un levier analogue à celui des clefs de Morse. Tant qu'on n'y touche pas, la balance est dans le circuit et le sonomètre n'y est pas; c'est le contraire qui arrive quand on abaisse le levier en pressant sur le bouton L. Rien n'est donc plus facile que d'entendre alternativement le son de la balance et le son du sonomètre.

Le sonomètre, en effet, produit un son quand le courant interrompu le traverse; les deux bobines inductrices *a* et *c* donnent des courants induits de sens contraires dans la bobine *b*, et ces courants, en passant par le téléphone, changent son état magnétique et le font parler s'ils ne sont pas égaux. Si donc, ayant le téléphone à l'oreille, on fait glisser la bobine induite *b* sur la règle, on trouve une position pour laquelle le téléphone est silencieux. C'est là qu'est le zéro de la règle. Dans notre appareil, il est à 5^{cm} de la bobine la plus mince *c* et à 20^{cm} de la bobine la plus épaisse *a*. Si l'on éloigne la bobine *b* du zéro, le son reparaît plus ou moins fort et son intensité peut être indiquée par la division à laquelle la bobine est arrêtée.

Nous avons maintenant à comparer tous les métaux pris sous la même forme, celle de disques, et les mêmes dimensions, celles d'un schilling. Nous en mettons un dans le godet A de la balance : le téléphone donne un son produit par le métal. Pressons sur la clef : nous en entendrons un autre produit par le sonomètre, et nous le ferons varier en déplaçant la bobine induite *b*. En pressant alternativement sur la clef, nous entendrons successivement les deux sons et nous finirons par les rendre égaux. La bobine induite du sonomètre sera alors à une certaine division qui mesurera l'effet du métal : ce sera 115 pour un schilling, 52 pour un disque de fer de mêmes dimensions, 40 si c'est du plomb, etc. Cependant il ne faut pas oublier que ces mesures, que M. Hughes trouve faciles, sont en réalité très difficiles. Il arrive, je ne sais pourquoi, que les deux sons à comparer n'ont pas la même hauteur, et alors on hésite beaucoup à dire qu'ils sont égaux en intensité; il faut certainement un apprentissage de l'oreille, que je n'ai pas eu le temps

de faire, et qui n'aboutit peut-être qu'à une illusion. Quoi qu'il en soit, voici les nombres trouvés par M. Hughes.

Je les appellerai *coefficients d'induction spécifiques*. J'ai mis à côté d'autres coefficients semblables, mais obtenus par d'autres méthodes par Babbage et Herschel et par Nobili : tous ces nombres ne s'accordent pas entre eux. Ils n'ont pas plus de rapports avec la conductibilité, dont la dernière colonne du Tableau contient les coefficients, empruntés à l'Ouvrage anglais de Latimer-Clark.

Métaux.	Coefficients d'induction d'après M. Hughes.	d'après Babbage et Herschel.	d'après Nobili.	Coefficients de conductibilité électrique.
Argent pur	125	»	»	100
Or	117	»	»	78
Argent des monnaies	115	»	»	»
Aluminium	112	»	»	55
Cuivre	100	100	100	100
Zinc	80	93	30	29
Bronze	76	»	»	»
Étain	74	46	21	12.4
Fer ordinaire	52	»	»	15
Maillechort	50	»	»	12 à 16
Fer pur	45	»	»	»
Cuivre allié d'antimoine	40	»	»	»
Plomb	38	25	17	8,3
Antimoine	35	»	»	4,5
Mercure	30	»	»	1,6
Soufre allié de fer	20	»	»	»
Bismuth	10	»	»	1,2
Zinc allié d'antimoine	6	»	»	»
Éponge d'or pur	3	»	»	»
Charb. des cornues à gaz	2	»	»	»

Les nouvelles expériences de M. Hughes excitent tout d'abord l'étonnement; mais, en réalité, elles ne sont qu'une application immédiate des lois connues de l'induction.

On sait que chaque interruption successive du courant inducteur produit deux courants induits, l'un *inverse*, l'autre *direct*, qui sont égaux en quantité et inégaux en *intensité*, ce dernier mot dé-

signant le quotient de la quantité par la durée du courant. Ces deux courants se montreront donc égaux dans tous les appareils qui ne mesurent que la quantité, tels que le galvanomètre et le voltamètre, tandis qu'ils se montreront inégaux dans tous les phénomènes qui dépendent de l'intensité, tels que la commotion, l'étincelle et l'aimantation de l'acier trempé. C'est ce dernier phénomène que l'on observe avec le téléphone, dont le bruit est le résultat du changement de magnétisme de l'aimant qui lui sert de noyau par le courant induit qui circule autour de cet aimant. On peut s'assurer que cet instrument est sensible aux deux courants induits, mais qu'il parle beaucoup plus fort quand il reçoit le courant direct, celui qui correspond à la rupture du courant inducteur. Si le téléphone reçoit à la fois les courants induits dans deux bobines de sens contraires, c'est comme s'il ne recevait que leur différence, et il restera silencieux quand les deux courants seront égaux.

L'introduction d'une bobine fermée dans la bobine induite produit un effet bien connu : elle augmente la durée de l'induction et par conséquent diminue l'intensité du courant induit; son action sur le téléphone sera donc affaiblie. Le résultat sera le même si l'on remplace la bobine par une masse métallique dans laquelle puissent se développer des courants induits. Cette masse, qu'on appelle *diaphragme*, pourra avoir une forme quelconque, pourvu que ses dimensions parallèles à l'axe de la bobine ne soient pas trop petites. L'induction paraît devoir être d'autant plus facile que le corps est plus conducteur; mais elle doit dépendre d'autre chose que de la conductibilité mesurée dans des fils.

Mais si le corps introduit dans la bobine est magnétique, si c'est du fer, par exemple, les résultats seront bien différents. Le fer s'aimante par le passage du courant, et cette aimantation augmente l'induction tout entière, aussi bien la quantité que l'intensité. Tous les effets sont donc augmentés, aussi bien les effets galvanométriques que les effets téléphoniques. Seulement, si le fer agit comme aimant, il agit aussi comme diaphragme métallique ; de là une complication qu'on fait disparaître en remplaçant le noyau en fer par un faisceau de fils de fer.

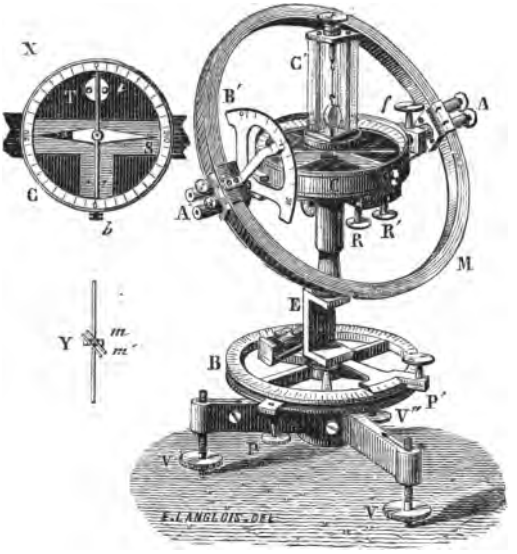
Boussole des sinus et des tangentes de Pouillet;
modifiée par M. E. Ducretet.

Cette boussole présente les particularités suivantes :

1° La boîte G qui reçoit le barreau aimanté γ est montée à coulisse sur son support et peut ainsi recevoir une position excentrique par rapport au cercle multiplicateur M, comme cela a lieu dans la boussole conique de M. Gaugain.

2° Le cercle multiplicateur M est monté à centre sur un système

Fig. 1.



de pivots suivant son diamètre AA'. On peut, en l'inclinant sur l'horizon d'un angle variable, affaiblir dans tel rapport que l'on veut l'action du cercle multiplicateur sans employer de dérivation, et par suite faire servir directement la boussole à la mesure de courants très énergiques. Un cercle gradué B' permet d'évaluer l'inclinaison du cercle M et de rendre ainsi comparables les mesures faites avec des inclinaisons différentes.

La gorge du multiplicateur M reçoit deux fils parallèles qui

aboutissent aux quatre bornes extrêmes A; par-dessus se trouve enroulée une large bande de cuivre rouge épais dont les extrémités sont fixées aux bornes A′, opposées aux premières. Cette bande de cuivre peut être impunément traversée par un très fort courant.

Un système de deux miroirs m, m', fixés sur le barreau aimanté, sert aux mesures précises, soit par projection avec le miroir concave m, soit par réflexion avec le miroir plan m'. Ces miroirs sont mobiles; ils peuvent être placés dans différentes directions. Une plaque de cuivre rouge épais sert d'amortisseur.

Explorateur électrique de M. Trouvé; par M. C.-M. Gariel.

M. Trouvé présente à la Société quelques-uns des appareils dans lesquels il a cherché à appliquer l'électricité aux besoins de la pratique médicale et chirurgicale, et d'abord il signale un explorateur qui permet de reconnaître la présence d'un projectile métallique dans une plaie. Après avoir sommairement rappelé les méthodes qui avaient été proposées antérieurement, il décrit cet appareil. Celui-ci se compose de l'explorateur proprement dit, formé par deux tiges métalliques placées à côté l'une de l'autre, mais séparées par une matière isolante, et terminées par deux pointes fines soigneusement acérées. Des fils conducteurs sont attachés à l'extrémité opposée de ces tiges et contribuent à former un circuit qui contient un petit élément (pile à renversement) et un trembleur de petites dimensions placé entre deux lames de verre, de telle sorte que l'on peut sentir, entendre et voir le mouvement du ressort qu'il comprend. Mais l'appareil tel que nous venons de le décrire ne peut fonctionner : le circuit n'est pas complet, il existe une solution de continuité entre les deux pointes. La tige à double pointe étant introduite dans la plaie, si les pointes viennent à rencontrer un corps métallique, une balle, un éclat d'obus, etc., le circuit se ferme et le trembleur entre en action. Il n'en est pas de même si les pointes appuient sur un os ou toute autre matière analogue, leur conductibilité étant trop faible. On est donc averti immédiatement de l'existence d'un fragment métallique. En faisant tourner les pointes avec une légère inclinaison, le trembleur fonc-

tionne d'une manière continue s'il s'agit du plomb, où les pointes peuvent pénétrer quelque peu; le bruit est saccadé s'il s'agit de l'acier ou du cuivre. En approchant même à une distance notable un léger système astatique suspendu à un fil sans torsion, on distingue aisément entre ces deux derniers métaux, ce qui permet un diagnostic sûr au point de vue de la nature du corps.

Dans le cas où le corps étranger est dur et ne peut être retiré à l'aide d'un tire-fond, on se sert de pinces; mais leur emploi est rendu plus sûr par une disposition particulière que leur a donnée M. Trouvé : les deux branches sont isolées l'une de l'autre à leur croisement, et les deux anneaux sont reliés aux fils conducteurs aboutissant à la pile et au trembleur. Si la pince est ouverte, le circuit est interrompu; il est fermé, au contraire, si les mors sont au contact ou s'ils sont serrés contre un corps métallique, et alors, le courant passant, le trembleur fonctionne. On sait donc immédiatement lorsqu'au fond du trajet fistuleux la pince a saisi le corps métallique dont on a reconnu l'existence ou un fragment d'os; on sait également s'il n'y a pas de fragments de tissus de membranes interposés entre la pince et le corps à extraire, car, dans l'un et l'autre cas, la résistance de ces substances organisées au passage de l'électricité est trop grande pour permettre au courant de s'établir.

Appareil de M. Trouvé pour l'examen des cavités profondes naturelles ou artificielles; par M. C.-M. Gariel.

M. Trouvé rappelle le polyscope qu'il a montré antérieurement à la Société (séance du 6 janvier 1878) et dans lequel il obtient une source de lumière intense par l'incandescence d'un fil de platine; l'échauffement n'est d'ailleurs pas très considérable et permet le maintien de l'appareil, dans la bouche par exemple, pendant une minute et plus, temps suffisant pour les explorations, d'autant qu'on peut renouveler celle-ci après quelques instants pendant lesquels le refroidissement s'est produit. Le courant est donné par une pile secondaire Planté, à laquelle M. Trouvé a adapté un régulateur spécial d'intensité de courant.

M. Trouvé, grâce à ce mode d'éclairage, a pu arriver à l'examen

précis des cavités profondes naturelles ou artificielles. Il se sert, à cet effet, d'une sonde métallique dont les dimensions sont calculées d'après celles du trajet qu'elle a à accomplir et qui présente à la profondeur convenable une ou plusieurs ouvertures; à ce niveau se trouve dans la sonde un prisme de verre à réflexion totale dont la face hypoténuse est inclinée à 45° sur l'axe de la sonde, l'une des faces latérales se trouvant alors perpendiculaire à l'axe du tube, et l'autre, parallèle à cet axe, ferme l'ouverture qui existe dans la paroi de la sonde. Enfin un fil de platine, faisant partie d'un circuit qui contient une pile de Planté, se trouve dans la sonde et près du prisme ; lorsqu'il est amené à l'incandescence, la lumière qu'il envoie est réfléchie et forme un faisceau qui va éclairer en dehors les points qui se trouvent en face de la fenêtre pratiquée dans la sonde. La lumière, diffusée par les parties ainsi éclairées, suit un chemin inverse, se réfléchit totalement et sort du prisme dans la direction de l'axe de la sonde, de manière à parvenir à l'œil de l'observateur placé à l'orifice. La source lumineuse se trouvant ainsi placée très près des régions à explorer, celles-ci se trouvent vivement éclairées. Ajoutons que, pour rendre l'observation plus fructueuse, M. Trouvé emploie des prismes dont les faces d'entrée et de sortie sont courbes, ce qui équivaut à l'ensemble d'un prisme à faces planes et d'une lentille.

L'emploi du fil de platine comme source lumineuse a encore permis à M. Trouvé de disposer des appareils qui sont appelés à rendre des services réels dans un assez grand nombre de cas. Ce fil, placé dans un tube ou un petit flacon en verre fermé hermétiquement et où pénètrent seulement les conducteurs qui amènent le courant, constitue une sorte de lampe ou de lanterne qui évite absolument toute crainte d'incendie et qui, par suite, peut être utilisée dans un grand nombre de cas sur lesquels il n'est pas nécessaire d'insister. On conçoit en effet qu'il y a une garantie complète, puisqu'un accident qui briserait l'enveloppe protectrice romprait les conducteurs et que l'incandescence cesserait aussitôt.

M. Trouvé termine sa Communication par une expérience frappante. Un tube de verre formant lanterne comme il vient d'être dit est introduit dans l'estomac d'un poisson. Aussitôt que le courant passe, les chairs translucides s'illuminent et le poisson apparaît lumineux au milieu de l'eau. L'effet est des plus curieux lorsqu'on

opère dans l'obscurité. L'animal ne paraît pas souffrir et peut servir à plusieurs expériences successives.

Ces diverses applications sont susceptibles d'extension et peuvent rendre de réels services dans un grand nombre de circonstances.

SÉANCE DU 7 MAI 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 avril est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. de Bécordel, receveur particulier à Saint-Amand (Cher);
Bellati (Manfredo), professeur à l'Université de Padoue (Italie);
Boistel, ingénieur civil, à Paris;
Buchin, à Bordeaux;
Caraguel, avocat, à Castres;
Daly, médecin, à Angoulême;
Dujardin, à Paris;
Ferray (Édouard), pharmacien, à Évreux;
Jennet, professeur au Lycée d'Angoulême;
de Lucchi (le Dr Guglielmo), premier aide à la chaire de Physique expérimentale de l'Université de Padoue (Italie);
Sauvage, commis principal des Télégraphes, à Évreux;
Voigt, professeur au Lycée de Lyon;

M. Lechat expose à la Société ses recherches sur les vibrations à la surface des liquides.

Les figures obtenues par l'expérience sont celles de la théorie; mais la valeur de la période n'est donnée par aucune des formules calculées *a priori*. Les expériences ont mis en évidence, entre autres points, l'influence de la profondeur du vase.

M. Lippmann fait remarquer que, pour les ondes d'un faible rayon de courbure, l'influence de la capillarité peut égaler ou dépasser celle de la pesanteur.

M. Ogier expose ses recherches sur la combinaison de l'hydrogène phosphoré avec l'acide chlorhydrique à l'aide de la pression dans l'appareil de Cailletet. L'expérience est projetée sur un écran.

M. Bouty communique à la Société ses travaux sur les forces électromotrices thermo-électriques et sur le phénomène Peltier au contact des métaux et des liquides.

M. Bertin montre une pince à tourmalines munie d'une lentille d'éclairement et d'une lunette qui en font un microscope polarisant portatif et commode.

Des vibrations à la surface d'un liquide placé dans un vase de forme rectangulaire; par M. Lechat.

La théorie mathématique des petits mouvements à la surface des liquides pesants a été établie d'abord par Lagrange dans un Mémoire inséré dans la collection des *Mémoires de l'Académie de Berlin,* année 1786. Poisson a repris cette théorie dans un travail publié dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences,* année 1816.

Ces deux géomètres se proposaient surtout de traiter la question de la forme et de la propagation des ondes à la surface d'un liquide indéfini. Ils admettaient l'un et l'autre, comme condition à la surface, que toute molécule de cette surface y reste constamment pendant le mouvement.

Lorsqu'un liquide est placé dans un vase d'une petite étendue et qu'il est convenablement agité, on voit la surface se diviser en un certain nombre de parties vibrantes et les divisions rester fixes.

Les frères Weber me paraissent être les premiers qui se soient occupés de cet état particulier de la surface liquide dans un Ouvrage important publié à Leipzig en 1825. Ils l'ont désigné du nom d'*oscillation fixe.* La théorie qu'ils ont donnée du phénomène me paraît tout à fait insuffisante. Ils admettent, sans s'appuyer sur les principes de la Mécanique, que le mouvement communiqué en un point de la surface se propage uniformément et se réfléchit

sur les parois du vase, et qu'il y a interférence entre le mouvement primitif et les mouvements réfléchis. Ils ne s'occupent ni des mouvements des molécules dans le sens horizontal ni de la période nécessaire pour que telle ou telle figure se produise. Enfin ils disent, en résumé, que les figures de la surface sont celles que Chladni a trouvées pour les plaques vibrantes.

Les équations différentielles de Lagrange renferment, en principe, toute la théorie des petits mouvements dans les liquides pesants. Il m'a paru intéressant de partir de ces équations pour étudier les vibrations à la surface d'un liquide et d'examiner jusqu'à quel point les résultats de l'expérience sont d'accord avec ceux de la théorie. Je n'exposerai ici que la partie de ce travail qui se rapporte aux vases de forme rectangulaire.

Si l'on prend pour plan des xy celui de la surface libre du liquide en équilibre et l'axe des z dirigé verticalement vers le bas, qu'on place l'origine à l'un des sommets du rectangle de la surface, qu'on suppose l'axe des x dirigé suivant le côté de longueur l et l'axe des y suivant le côté de longueur l', et qu'on admette enfin que la vitesse initiale soit nulle, on trouve que le mouvement à la surface libre résulte de la superposition de mouvements simples, représentés par les équations

$$z = \frac{\gamma}{g} \mathrm{H} \cos\gamma t \cos\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'},$$

$$u = -\frac{n\pi}{l} \mathrm{H} \sin\gamma t \sin\frac{n\pi x}{l} \cos\frac{n'\pi y}{l'},$$

$$v = -\frac{n'\pi}{l'} \mathrm{H} \sin\gamma t \cos\frac{n\pi x}{l} \sin\frac{n'\pi y}{l'}.$$

Dans ces équations, g est l'accélération due à la pesanteur; n, n' des nombres entiers positifs; H un coefficient qui dépend des données initiales et des valeurs de n, n', l, l'; u et v les composantes de la vitesse de vibration, prises parallèlement aux axes des x et des y, à l'époque t et au point dont les coordonnées sont x, y, z. Quant à γ, si l'on désigne par h la profondeur du liquide et par q l'expression

$$q = \pi \sqrt{\frac{n^2}{l^2} + \frac{n'^2}{l'^2}},$$

il est donné par la relation

$$\gamma^2 = \frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}} gq,$$

ou bien, si l'on admet avec Lagrange que la profondeur ébranlée est très faible, par la relation

$$\gamma^2 = q^2 gh.$$

Le mouvement simple correspondant à des valeurs particulières de n, n' est périodique, et la durée τ de la période est donnée par l'équation

$$\gamma\tau = 2\pi.$$

Pour que l'on puisse observer un mouvement vibratoire régulier à la surface du liquide, il faut que les mouvements simples ainsi superposés aient la même période ou que γ soit le même pour tous, ce qui ne peut avoir lieu que pour un nombre limité de systèmes de valeurs de n, n'. Alors, en réunissant les termes qui correspondent à ces systèmes de valeurs, l'équation de la surface libre est

$$z = \frac{\gamma \cos \gamma t}{g} \Sigma \mathrm{H} \cos \frac{n\pi x}{l} \cos \frac{n'\pi y}{l'},$$

et les composantes de la vitesse de vibration prises parallèlement aux x et aux y sont

$$u = -\frac{\pi \sin \gamma t}{l} \Sigma n \mathrm{H} \sin \frac{n\pi x}{l} \cos \frac{n'\pi y}{l'},$$

$$v = -\frac{\pi \sin \gamma t}{l'} \Sigma n' \mathrm{H} \cos \frac{n\pi x}{l} \sin \frac{n'\pi y}{l'}.$$

Si l'on pose $z = 0$ ou

$$\Sigma \mathrm{H} \cos \frac{n\pi x}{l} \cos \frac{n'\pi y}{l'} = 0,$$

on a l'équation d'un système de lignes sur lesquelles le niveau ne varie pas avec le temps et que l'on appelle *lignes nodales*.

L'équation

$$\Sigma n \mathrm{H} \sin \frac{n\pi x}{l} \cos \frac{n'\pi y}{l'} = 0$$

donne un système de lignes sur lesquelles la composante de la vitesse de vibration prise parallèlement aux x est nulle à toute

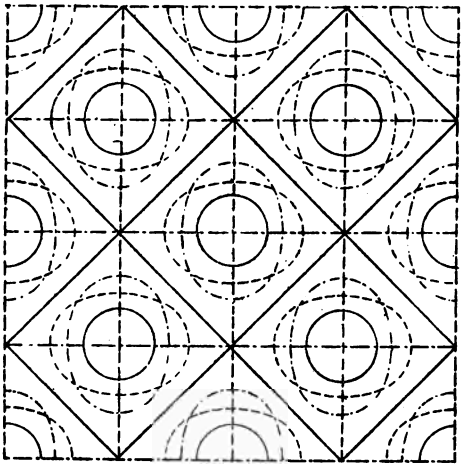
époque. Sur ces lignes $\left(\frac{dz}{dx}\right)$ est aussi nulle, et, par conséquent, elles renferment la série des points qui, pour chaque valeur de y, ont les excursions maxima de part et d'autre de la surface libre. Nous les appellerons *lignes ventrales* relatives aux x. L'équation

$$\Sigma n' \mathrm{H} \cos\frac{n\pi x}{l} \sin\frac{n'\pi y}{l'} = 0$$

est de même celle des lignes ventrales relatives aux y.

Les points communs aux deux systèmes de lignes ventrales n'ont de mouvement que dans le sens vertical, et les excursions dans ce sens y sont maxima. Ce sont les *ventres de vibration*. Si cependant certains de ces points appartiennent aux lignes nodales, ils sont en repos absolu. On les appelle alors *nœuds de vibration*.

Fig. 1.



J'ai construit les lignes nodales et les lignes ventrales pour un grand nombre de cas des vases rectangulaires, en supposant que les conditions initiales présentent une symétrie complète par rapport aux x et aux y. La *fig.* 1 se rapporte au cas d'un vase carré, et elle a été faite pour les deux systèmes de valeurs de n, n'

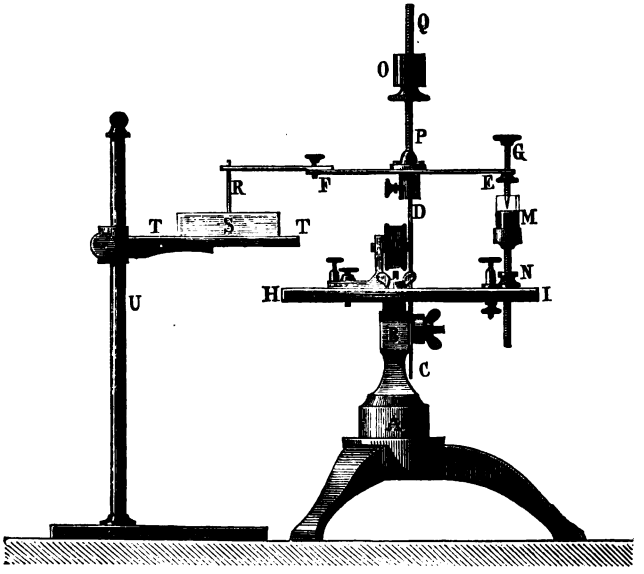
$$n = 4, \quad n' = 2,$$
$$n = 2, \quad n' = 4.$$

Les lignes nodales sont tracées en traits pleins, les lignes ventrales du premier système en tirets et celles du second système en tirets séparés des points.

Il s'agissait maintenant de vérifier les conséquences de la théorie.

J'ai fait construire, dans ce but, une série de vases carrés et de vases rectangulaires. Les uns sont faits avec des lames de glace; les autres sont en bois. Ces derniers ont été creusés dans des blocs d'un bois bien homogène et on leur a conservé une épaisseur de parois d'environ $0^m,01$. Tous ces vases ont une profondeur bien constante. Les vases en bois ne conviennent que pour le mercure; les autres peuvent être employés pour l'eau et pour les autres liquides qui ne dissolvent pas le mastic.

Fig. 2.



J'ai cherché un procédé d'ébranlement du liquide qui permît de le faire vibrer seul, autant que possible, et qui donnât facilement la période du mouvement vibratoire. La grande épaisseur laissée aux parois des vases avait pour but d'empêcher les vibrations du liquide de se communiquer sensiblement au vase.

Sur un support en fonte très pesant (*fig.* 2) est fixé une sorte d'étau à deux vis AB, qui serre, près de son extrémité inférieure,

une lame d'acier verticale CD. A l'extrémité supérieure de cette lame s'attache une barre horizontale en cuivre EF, et l'extrémité F de cette barre porte une tige d'acier verticale R, qui agira directement sur le liquide. Le vase rectangulaire T est placé sur une tablette horizontale, au-dessous de la tige R, et le liquide affleure exactement à l'extrémité de cette tige. Si l'on met la lame CD en vibration, la tige pénètre dans le liquide et en ressort périodiquement. Les vibrations de la lame sont entretenues par un électro-aimant et par l'interrupteur à mercure G, M.

Le liquide peut ainsi être attaqué en un point quelconque de la surface. Il y aura symétrie par rapport à deux des côtés du vase si l'on prend le point d'attaque sur la bissectrice de leur angle.

Pour une même lame vibrante, on fait varier la période des vibrations au moyen de la tige à vis Q et du poids cylindrique O, mobile sur cette tige. On peut du reste, dans ce but, allonger ou raccourcir la partie vibrante et même changer la lame.

Lorsqu'on a déterminé un mouvement vibratoire à la surface d'un liquide, il est assez difficile d'apercevoir directement les divisions. Ainsi, pour le mercure, on est obligé de se placer assez loin et de regarder très obliquement, de façon à ne recevoir que la lumière diffuse. Le procédé suivant a réussi parfaitement.

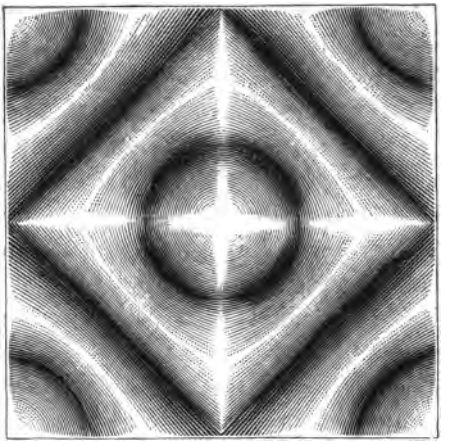
On fait tomber sur la surface du liquide un faisceau de lumière presque parallèle, provenant d'une lampe ou d'un bec de gaz, et l'on place à l'opposite un écran blanc qui reçoit le faisceau réfléchi. Si l'axe du faisceau incident est perpendiculaire à l'un des côtés du vase, et que l'écran soit parallèle au même côté, on obtient sur cet écran une impression rectangulaire qui sera semblable à la surface liquide dans le cas où l'écran fera avec les rayons réfléchis le même angle que la surface liquide avec les rayons incidents. Tant que le liquide est en repos, cette impression est uniformément éclairée. Aussitôt que le mouvement vibratoire se produit, on voit apparaître des espaces plus brillants et d'autres plus sombres, et, pour des valeurs convenables de la période, les figures obtenues ont une grande netteté.

On distingue dans les figures nettes de petits espaces fortement éclairés, des lignes un peu moins brillantes et des espaces relativement sombres. Les petits espaces très éclairés correspondent aux ventres de vibration et les lignes brillantes aux lignes ventrales. Il

est facile de s'en rendre compte. Les ventres de vibration et les espaces qui les avoisinent immédiatement forment, par suite du mouvement vibratoire, de véritables miroirs courbes, tantôt concaves, tantôt convexes, alternativement. Lorsque la surface devient concave, les rayons réfléchis sont convergents et l'éclairage est très vif sur un petit espace. De là une succession d'illuminations au même point de l'écran et une sorte de mouvement vibratoire visible si la durée de la période est moindre que celle de l'impression sur la rétine. La même chose a lieu jusqu'à un certain point pour les lignes ventrales. Il en est tout autrement pour les lignes nodales, parce que, de part et d'autre de ces lignes, la surface est concave d'un côté et convexe de l'autre.

La *fig.* 3 représente la forme de la figure qu'on obtient sur

Fig. 3.



l'écran, avec un vase carré de 5^c de côté et du mercure sur une profondeur de $1^c,56$, lorsqu'on attaque le mercure au centre du carré et que la lame vibrante exécute cent quarante-deux vibrations doubles en trente secondes. Elle se rapporte à la *fig.* 1.

La position connue des ventres, des lignes ventrales et des lignes nodales fait connaître le mode de division de la surface en mouvement.

Il serait facile de projeter les figures, en disposant au-dessus de la surface liquide un miroir incliné à 45° et en recevant les

rayons réfléchis sur une lentille qui donnerait une image nette sur un écran vertical; mais il faudrait alors employer une source de lumière beaucoup plus intense et opérer dans une chambre obscure.

Lorsqu'on veut déterminer la durée de la période du mouvement vibratoire correspondant à une certaine figure de la surface, il se présente une difficulté qui tient à la production d'harmoniques. La même figure peut s'obtenir avec plusieurs périodes du mouvement de la lame vibrante. Mais, si le mouvement n'est pas trop rapide, on reconnaît facilement la vraie période qui correspond à cette figure. Il suffit de comparer le mouvement vibratoire sur l'écran avec celui de la lame et de voir s'il y a synchronisme.

La nécessité de cette comparaison m'a obligé à ne jamais employer de mouvements vibratoires très rapides. Il y a à cela un autre avantage : c'est que les divisions de la surface sont plus grandes et que les détails s'observent mieux. Mais on ne peut obtenir ainsi qu'un nombre relativement restreint de figures, celles qui se rapportent à des valeurs assez faibles de n et n'.

Dans ces conditions, pour avoir avec exactitude la durée de la période, il m'a suffi de faire usage d'une montre à secondes. J'ai pu compter jusqu'à deux cent seize périodes en trente secondes. L'opération est facilitée par les petites étincelles de l'interrupteur et le bruit sec qui les accompagne.

La comparaison des résultats de la théorie avec ceux que donne l'expérience comprend deux parties :

1° Les figures de la surface réellement obtenues sont-elles bien celles que fait connaître la théorie?

2° La durée de la période ou, ce qui est la même chose, la valeur de γ correspondant à une figure donnée, pour laquelle n et n' sont connus, est-elle fournie par l'équation

$$\gamma = q\sqrt{gh},$$

due à Lagrange, ou par l'équation

$$\gamma = \sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}\, gq},$$

qu'on obtient en supposant la profondeur h quelconque, ou bien

la valeur de γ ne se représente-t-elle par aucune de ces deux formules?

Sur le premier point il n'y a aucun doute. Toutes les figures obtenues et en très grand nombre sont parmi celles que la théorie indique.

Quant à la seconde question, elle se divise naturellement en deux autres :

1° Quelle est, pour une même figure, l'influence de la profondeur du liquide?

2° Comment, pour une même profondeur, la valeur de γ varie-t-elle avec la forme de la surface?

Les expériences relatives à cette seconde question ont été faites seulement avec le mercure. On a employé des vases de forme carrée et des vases rectangulaires ayant leurs côtés dans le rapport de 2 à 3.

Pour déterminer la profondeur du liquide, on en prend le poids et l'on tient compte de l'accroissement de profondeur dû à la dépression capillaire près des parois du vase. Pour cela, on a supposé que le ménisque est une portion de cylindre droit à base circulaire et que l'angle de raccordement est de 45°. La petite erreur qui résulterait de l'inexactitude de ces deux suppositions est insignifiante. La longueur des côtés du vase doit être connue.

Lorsqu'on a obtenu une figure bien nette de la surface, la disposition des ventres, des lignes ventrales et des lignes nodales fait connaître, d'après la théorie, les valeurs de n et n' qui lui correspondent. On peut alors calculer la valeur de q, puisqu'on a

$$q = \pi \sqrt{\frac{n^2}{l^2} + \frac{n'^2}{l'^2}}.$$

Enfin, on obtient la durée τ de la période en comptant le nombre N de vibrations complètes exécutées par la lame vibrante en trente secondes. On a

$$\tau = \frac{30}{N},$$

et l'on en déduit γ par la formule

$$\gamma = \frac{2\pi}{\tau} = \frac{\pi N}{15}.$$

Si l'on compare d'abord les valeurs de γ, relatives à une même figure obtenue avec le même vase, pour des profondeurs différentes, on reconnaît qu'elles vont en augmentant à mesure que la profondeur s'accroît, mais de moins en moins, de sorte que, à partir d'une certaine profondeur assez faible, un accroissement dans la profondeur n'amène plus de variations sensibles dans γ. Cette profondeur limite est d'autant moindre que q est plus grand.

Les valeurs de γ pour la même forme de la surface, mais avec des profondeurs différentes, sont parfaitement représentées par la formule

$$\gamma = a\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}},$$

dans laquelle a est un coefficient variable avec les dimensions du vase et la forme de la surface. Cette formule s'accorde, sous le rapport de la profondeur, avec la valeur théorique

$$\gamma = \sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}\, gq},$$

et non pas avec la valeur

$$\gamma = q\sqrt{gh}.$$

Si maintenant on cherche comment, pour une même profondeur, le coefficient a varie avec la forme de la surface, on reconnaît qu'il peut être représenté par la formule empirique

$$a = 0{,}07083\, q + \pi\sqrt{g}$$

et que cette valeur de a convient pour tous les vases essayés, aussi bien les vases carrés de diverses dimensions que les vases rectangulaires. On peut donc écrire, d'une manière générale,

$$\gamma = (0{,}07083\, q + \pi\sqrt{g})\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}}.$$

Pour montrer l'accord de l'expérience avec cette formule empirique, nous remarquerons que, si N exprime le nombre des périodes

de la vibration en trente secondes, on doit avoir

$$N = \frac{15}{\pi}\gamma = \frac{15}{\pi}(0,07083q + \pi\sqrt{g})\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}}$$

ou

$$N = \left(1,0625\frac{q}{\pi} + 47,09\right)\sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}};$$

cet accord est alors indiqué par les Tableaux suivants :

Vases carrés : $q = \frac{\pi}{\lambda}\sqrt{n^2 + n'^2}$.

Côté du vase, $\lambda = 0^m,1$; profondeur du mercure, $h = 0^m,0038$.

$\sqrt{n^2 + n'^2}$.	Valeurs de N observées.	Valeurs de N calculées.	Différences.
4.....	60	59,8	+ 0,2
$2\sqrt{5}$.....	66	66,23	— 0,23
6.....	87	87	0
8.....	114	113,7	+ 0,3
$4\sqrt{5}$.....	127	126,35	+ 0,65

Même vase. Profondeur du mercure, $0^m,072$.

4.....	75,75	76	— 0,25
$2\sqrt{5}$.....	83	82,96	+ 0,04
6.....	104	103,9	+ 0,1
8.....	128	128,75	— 0,75
$4\sqrt{5}$.....	139,4	139,8	— 0,4

Même vase. Profondeur du mercure, $0^m,021$.

$2\sqrt{5}$.....	95	94,61	+ 0,39
6.....	111	110,96	+ 0,04
8.....	132	132,20	— 0,20
$4\sqrt{5}$.....	142	142,25	— 0,25

Côté du vase, $\lambda = 0^m,05$; profondeur du mercure, $h = 0^m,0156$.

$\sqrt{4n^2+9n'^2}$.	Valeurs de N observées.	Valeurs de N calculées.	Différences.
4.....	132	132,2	— 0,2
$2\sqrt{5}$.....	142	142,25	— 0,25
6.....	174,25	174,75	— 0,5

Vase rectangulaire :

$$l = 0^m,072 = 3\lambda, \quad l' = 0^m,048 = 2\lambda; \quad q = \frac{\pi}{6\lambda}\sqrt{4n^2+9n'^2},$$

$$h = 0^m,0122.$$

12.....	135	135,39	— 0,39
$4\sqrt{10}$.....	140	140,25	— 0,25
$6\sqrt{5}$.....	145,67	145,96	— 0,29
$4\sqrt{13}$.....	153,33	153,43	— 0,1
$12\sqrt{2}$.....	172,5	172,28	+ 0,22
18.....	180	179,9	+ 0,1
$6\sqrt{10}$.....	187	187,08	— 0,08
20.....	194,5	194,66	— 0,16

Les formules

$$\gamma = q\sqrt{gh},$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{e^{qh} - e^{-qh}}{e^{qh} + e^{-qh}}\, gq},$$

données par la théorie, la première en supposant la profondeur h très petite, la deuxième en ne faisant aucune supposition sur h, résultent de la seule hypothèse que toute molécule de la surface y reste pendant le mouvement. L'expérience montre que ni l'une ni l'autre de ces formules ne représente le phénomène. Il faut donc en conclure que cette hypothèse n'est pas justifiée et que probablement, ainsi que les frères Weber l'ont démontré expérimentalement pour les ondes en mouvement, les molécules de la surface pénètrent à l'intérieur du liquide.

Sur la combinaison de l'hydrogène phosphoré avec l'acide chlorhydrique; par M. J. Ogier.

On connaît depuis longtemps les combinaisons que forme l'hydrogène phosphoré avec les acides bromhydrique et iodhydrique. On avait lieu de penser qu'on pourrait obtenir avec l'acide chlorhydrique un composé analogue : c'est en effet ce que démontre l'expérience suivante, réalisée à l'aide de l'appareil si connu de M. Cailletet pour la liquéfaction des gaz.

Le tube ordinaire de l'appareil Cailletet est rempli, sur le mercure, d'un mélange à volumes égaux de gaz chlorhydrique et d'hydrogène phosphoré pur; il convient d'employer des tubes de diamètre assez large. La courbure inférieure est remplacée par un ajutage mobile, ce qui permet d'introduire facilement les gaz comme dans une éprouvette ordinaire.

En comprimant le mélange, à + 14°, vers 20^{atm}, la combinaison a lieu, et l'on voit apparaître de petits cristaux jaunâtres, très brillants, assez semblables à ceux que fournit le bromhydrate. Par une compression suffisante, les deux gaz disparaissent entièrement si le mélange a été bien fait, et le tube reste tapissé d'une paroi cristalline, sans trace de liquide.

Si l'on échauffe la partie supérieure du tube en l'enveloppant d'eau tiède, la compression détermine la formation d'une couche liquide : c'est ce qui a lieu dès la température de + 20°.

Si on laisse refroidir lentement le tube, l'appareil étant maintenu sans fuite vers 60^{atm} ou 70^{atm}, de manière à obtenir seulement une petite couche de liquide, il vient un moment où la combinaison se forme à l'état cristallin et d'une manière lente; un vide partiel se fait alors dans le tube, et le mercure monte : dans ces conditions, le volume des cristaux peut être assez considérable.

La formation du liquide peut être aussi réalisée sans échauffement extérieur du tube; il suffit de comprimer brusquement. La chaleur dégagée est alors suffisante pour maintenir le tout à l'état liquide pendant quelques instants.

Le froid détermine de même la formation du composé solide. Si en effet, avant qu'il y ait aucun dépôt de cristaux, vers 25^{atm} par

exemple, on vient à détendre le mélange gazeux, on voit se former, non pas un brouillard comme dans le cas des gaz liquéfiés, mais de petits flocons solides, très légers, qui tombent lentement les uns derrière les autres le long des parois du tube, puis disparaissent. Cette expérience est fort élégante.

La même combinaison se produit d'ailleurs sous l'influence du froid sans le concours de la pression. J'ai soumis le précédent mélange de gaz, contenu dans un tube ouvert par sa pointe sous une couche de mercure, au froid produit par l'évaporation du chlorure de méthyle liquide traversé par un courant d'air. Le dépôt de cristaux a lieu vers — 30°, presque subitement; le mercure monte alors et remplit la presque totalité du tube.

J'ai cherché à savoir si le mélange des deux gaz était accompagné d'un phénomène thermique appréciable et si, par suite, le chlorhydrate d'hydrogène phosphoré existait à l'état gazeux : les élévations de température observées ont été si faibles, qu'il serait téméraire d'en tirer aucune conclusion précise; ces essais montrent seulement que le composé dont il s'agit est, s'il existe à l'état de gaz, à peu près totalement dissocié à la pression et à la température ordinaires. Je suis arrivé à des résultats analogues en étudiant, au point de vue thermique, le mélange du gaz bromhydrique avec l'hydrogène phosphoré, l'expérience étant réalisée vers 40°, température à laquelle le système reste gazeux. On n'observe pas, dans ces conditions d'élévation, de température appréciable.

Mesure des forces électromotrices thermo-électriques au contact d'un métal et d'un liquide; par M. E. Bouty.

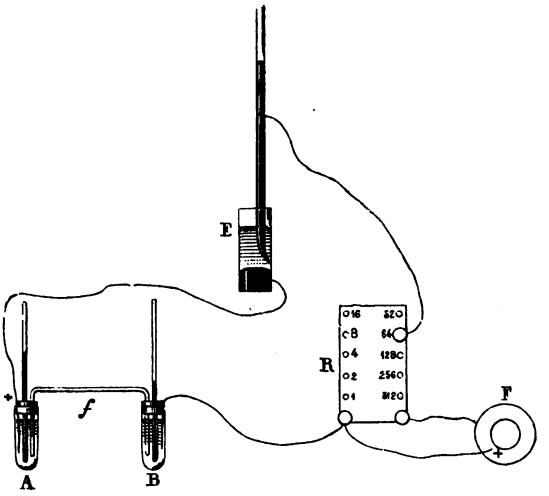
I. J'ai mesuré les forces électromotrices développées quand deux fils métalliques de même nature plongent dans deux portions d'un même liquide, maintenues à des températures différentes [1].

---

[1] Divers physiciens, entre autres MM. Pacinotti, Becquerel et Bleekrode, ont mesuré dans des cas particuliers, tels que celui du sulfate de cuivre, la force électromotrice thermo-électrique correspondant à une différence de température de 100°. *Voir* pour cet historique le *Journal de Physique*, t. VIII, p. 343 et 344 (1879) et t. IX, p. 229 (1880).

A cet effet, j'emploie une méthode d'opposition consistant à compenser la force électromotrice à mesurer par une dérivation variable prise sur un circuit de résistance totale connue, traversé par le courant d'un élément Daniell (*fig.* 1). La dérivation comprend :

Fig. 1.

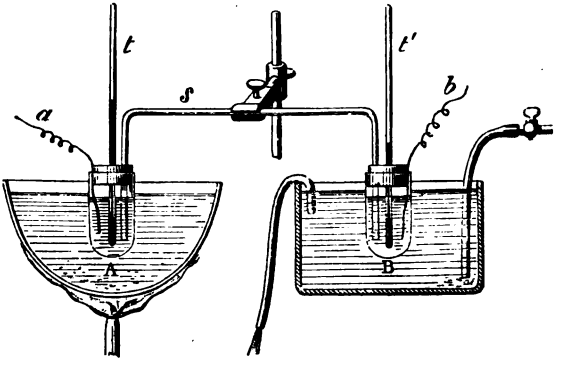


1° l'appareil thermo-électrique formé de deux tubes à expérience A et B contenant le liquide et les fils *a*, *b* (*fig.* 2); ces tubes sont réunis par un long siphon capillaire *f* (*fig.* 2) et plongent l'un dans un bain d'eau froide, l'autre dans un bain-marie dont on fait varier la température à volonté; 2° un électromètre de M. Lippmann E (*fig.* 1) sensible à $\frac{1}{10000}$ de daniell et que l'on ramène au zéro, dans chaque expérience, en réglant convenablement la dérivation. Deux thermomètres sensibles *t*, *t'* donnent la température des électrodes, et un calcul facile fournit la valeur de la force électromotrice thermo-électrique en fractions de daniell. L'emploi de l'électromètre évite le passage du courant dans la dérivation et la polarisation des fils, qui en serait la conséquence.

En général, les deux fils ne sont pas complètement identiques, et l'on observe une très petite force électromotrice dans un sens ou dans l'autre quand les deux bains sont à la même température; mais, dès qu'une différence de température s'établit, la force électromotrice varie, en général, très régulièrement; elle revient à sa

valeur primitive quand la température redevient la même de part et d'autre. Pour prévenir de graves irrégularités, il est nécessaire que les liqueurs aient été préparées avec de l'eau distillée bien privée d'air par une ébullition récente; on doit aussi s'abstenir d'élever la température au-dessus de 50° ou 60° et attendre, pour faire une mesure, que le mercure de l'électromètre se maintienne à un niveau bien fixe. L'agitation du liquide qui s'échauffe ou se

Fig. 2.



refroidit est, en effet, accompagnée de la production de forces électromotrices passagères, mais parfois très considérables, et qui sont, dans tous les cas que j'ai observés, de signe contraire aux forces thermo-électriques, qu'elles masquent en partie.

II. Je n'examinerai ici que le cas d'un métal et d'un sel du même métal en dissolution dans l'eau, et je prendrai pour type le cuivre et le sulfate de cuivre. La force thermo-électrique est, dans ce cas, rigoureusement proportionnelle à la différence de température des deux lames et ne varie pas sensiblement avec le degré de dilution du sel. Sa valeur moyenne pour 1° est de $0^{da},000688$; le cuivre chaud est à l'extérieur le pôle positif.

Les sels de cuivre, de zinc, de cadmium, de protoxyde de fer, de sous-oxyde de mercure, les chlorures d'or et de platine donnent aussi des résultats parfaitement réguliers. Dans tous les cas, le métal chaud est à l'extérieur le pôle positif. Je résume toutes les observations dans le Tableau suivant :

Métal.	Liquide.	Force électromotrice pour une différence de température de 1°.	Moyenne pour chaque métal.
		da	da
Platine.....	Chlorure de platine.	0,000735	0,000735
Cuivre.....	Sulfate de cuivre...	0,000688	0,000696
	Azotate de cuivre..	0,000704	
Zinc amalgamé (1)	Chlorure de zinc (D = 1,05 à 1,5) (2)	0,000696	0,000710
	Sulfate de zinc.....	0,000696	
	Azotate de zinc....	0,000692	
	Acétate de zinc....	0,000756	
Cadmium.....	Chlor. de cadmium.	0,000615	0,000616
	Sulfate de cadmium.	0,000598	
	Azotate de cadmium.	0,000634	
Mercure.....	Azot. de sous-oxyde de mercure.....	0,000140	0,000140
Or.....	Chlorure d'or.....	0,000024	0,000024
Fer (3).....	Sulfate de fer ammoniacal.....	— 0,000024	0,000002
	Sulfate de protoxyde de fer.....	0,000000	
	Protochlorure de fer.	+ 0,000077	
	Acétate de fer.....	+ 0,000087	
	Tartrate de protoxyde de fer....	— 0,000127	

On remarquera : 1° que les sels d'un même oxyde donnent très sensiblement le même nombre; 2° que les nombres relatifs au cuivre et au zinc amalgamé sont à peu près identiques, d'où ce fait, connu depuis longtemps, que la force électromotrice d'un élément Daniell demeure invariable quelle que soit la température : en effet, les forces électromotrices développées aux deux pôles agissent en sens contraires pour modifier de quantités égales la force électromotrice du couple.

---

(1) Le zinc non amalgamé est plus ou moins hétérogène et donne des résultats irréguliers.

(2) Les dissolutions plus concentrées présentent une particularité sur laquelle je reviendrai dans une Note ultérieure.

(3) Les sels de protoxyde de fer doivent être soigneusement ramenés au minimum.

III. On ne retrouve pas la régularité des expériences qui précèdent lorsque c'est le métal froid qui est à l'extérieur le pôle positif. Les métaux jouissant de cette propriété sont souvent attaqués par le liquide qui les baigne, et alors on peut dire que l'électromètre ne se fixe jamais; ses oscillations équivalent, dans certains cas, à $\frac{5}{1000}$ ou $\frac{6}{1000}$ de daniell, quelquefois à plusieurs centièmes, et les mesures deviennent tout à fait incertaines. Je crois cependant devoir indiquer ici les principaux résultats :

Métal.	Liquide.	Force électromotrice moyenne pour 1° (entre 10° et 30°).	Moyenne.
		da	da
Argent.....	Azotate d'argent...	— 0,000165	— 0,000202
	Bain d'argent pour galvanoplaste ...	— 0,000240	
Fer.....	Perchlorure de fer..	— 0,00170	— 0,00156
	Azotate de fer.....	— 0,00169	
	Sulfate de peroxyde de fer.....	— 0,00149	
	Alun de fer.....	— 0,00134	
Nickel.....	Chlorure de nickel.	— 0,00208	— 0,00214
	Azotate de nickel...	— 0,00234	
	Sulfate de nickel...	— 0,00200	
Magnésium	Valeurs beaucoup plus grandes que les précédentes, mais très incertaines.		
Aluminium			

Dans la plupart des cas la variation de la force électromotrice cesse d'être proportionnelle à la température; les nombres qui précèdent ne sont que des moyennes correspondant à des différences de température de moins de 20°.

On remarquera que les sels d'un même oxyde fournissent toujours sensiblement les mêmes nombres. La moyenne relative aux sels de protoxyde de fer est à peu près nulle, tandis que pour les sels de sesquioxyde elle a une valeur négative considérable. Aussi l'électromètre décèle-t-il avec sûreté $\frac{1}{500}$ de sesquioxyde de fer dans un sel de protoxyde. Le sulfate de protoxyde de fer commercial non purifié se comporte à peu près comme un sel de peroxyde.

Mesure absolue du phénomène de Peltier au contact d'un métal et de sa dissolution ; par M. E. Bouty.

I. Dans une Communication antérieure [1], j'ai rapproché du phénomène de Peltier l'élévation ou l'abaissement de température que l'on observe sur des électrodes de cuivre employées dans la décomposition du sulfate de cuivre.

Pour analyser de plus près ce phénomène, j'étudie d'abord la loi des petites variations d'un thermomètre que l'on échauffe au sein d'un liquide en repos. Ce thermomètre, sensible au $\frac{1}{200}$ de degré, a son réservoir entouré d'une spirale de fil de maillechort, de résistance connue, convenablement protégée contre l'action du liquide, et dans laquelle on fait passer un courant d'intensité déterminée. L'échauffement du thermomètre, en deux minutes par exemple, s'est montré rigoureusement proportionnel au carré de l'intensité du courant, c'est-à-dire à la quantité de chaleur versée à sa surface. Cet échauffement, toujours inférieur à 1° dans mes expériences, n'était pas modifié quand on entourait le réservoir d'une feuille de clinquant ou d'étain. On peut donc admettre que, quand le réservoir de ce thermomètre aura été métallisé et qu'il servira d'électrode au sein du liquide, les mêmes variations de sa température correspondront au dégagement des quantités de chaleur mesurées par l'expérience précédente.

II. Deux thermomètres, aussi identiques que possible et étudiés comme il vient d'être dit, sont recouverts de cuivre et plongent, à $0^m,1$ de distance l'un de l'autre, dans un grand vase rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre pur et placé lui-même dans un bain d'eau froide d'une trentaine de litres. Dans ces conditions, la température du liquide ne varie pas de $\frac{1}{100}$ de degré en cinq minutes, et les variations observées lors du passage du courant sont sensiblement indépendantes des conditions extérieures.

Quand on fait passer pendant deux minutes dans l'appareil à décomposition un courant dont l'intensité absolue est i, la quan-

---

[1] *Bulletin de la Société de Physique*, p. 126; 1879.

tité de chaleur versée à l'électrode négative peut être représentée par

$$(1) \qquad n = -ai + bi^2$$

et à l'électrode positive par

$$(2) \qquad p = +ai + bi^2.$$

Le premier terme dans ces deux expressions correspond au phénomène de Peltier, le second à la chaleur versée dans les couches liquides qui touchent le thermomètre, en vertu de leur résistance.

L'expérience a établi que les variations de température des deux thermomètres sont très exactement représentées par les formules (1) et (2), à la condition que les mesures soient faites à des intervalles assez éloignés et que les surfaces métalliques soient maintenues parfaitement nettes. Quand on substitue au sulfate de cuivre étendu du sulfate de cuivre concentré, la conductibilité électrique augmente et le coefficient b diminue; mais le coefficient a demeure invariable. Il est encore le même quand on substitue l'azotate de cuivre au sulfate.

III. W. Thomson et après lui Budde ont démontré, par l'application des principes de la Théorie mécanique de la chaleur aux courants thermo-électriques, qu'il y a une relation étroite entre le phénomène de Peltier et la force électromotrice thermo-électrique correspondante. Soient Π la quantité de chaleur versée en une seconde par suite du phénomène de Peltier et pour un courant d'intensité 1, J l'équivalent mécanique de la chaleur, $\frac{dE}{dT}dT$ la variation de la force thermo-électrique pour une élévation de température dT de l'une des soudures; on a

$$(3) \qquad \Pi = \frac{T}{J}\frac{dE}{dT}.$$

Cette formule suppose que toutes les grandeurs sont évaluées en unités absolues (C. G. S). Or j'ai montré dans la Note précédente que la valeur de $\frac{dE}{dT}$ pour le cuivre est constante et

égale à $0^{da},000696$, c'est-à-dire, en volts, $0^{vo},000696.1,12$ ou $0,000696.1,12.10^8$ unités absolues de force électromotrice. On a aussi, en unités absolues, $J = 4,2.10^7$. Il en résulte pour Π, à 12° C.,

$$\Pi = \frac{285}{4,2.10^7} \cdot 0,000696.1,12.10^8 = 0,528.$$

D'autre part, j'ai reconnu que pour élever de $0^o,471$ en deux minutes le thermomètre que j'employais, placé au sein du sulfate de cuivre, il fallait 4,77 unités absolues de chaleur ; j'ai déterminé le coefficient a des formules (1) et (2) relatives aux échauffements produits en deux minutes, et il s'est trouvé égal à 6,018; il faut multiplier ce nombre par $\frac{4,77}{0,471}$ pour passer des échauffements aux quantités de chaleur versées en deux minutes et enfin par $\frac{1}{120}$ pour avoir la chaleur versée en une seconde par le phénomène Peltier et pour un courant d'intensité 1. On a ainsi

$$\Pi = 6,018 \frac{4,77}{0,471} \frac{1}{120} = 0,5078.$$

Le résultat de ce calcul ne diffère du précédent que de $\frac{1}{25}$ de sa valeur : c'est tout ce que l'on peut espérer, en raison de la multiplicité des données expérimentales qu'ils mettent en œuvre.

Les sels de zinc et de cadmium ont donné des résultats aussi satisfaisants. Je signalerai en particulier les observations qui se rapportent au chlorure de zinc. Par une exception remarquable, la force électromotrice thermo-électrique présentée par le zinc dans ce liquide demeure constante pour des solutions dont la densité est inférieure à 1,6 et diminue ensuite rapidement jusqu'à zéro pour la solution la plus concentrée possible. Il en est de même de l'effet Peltier.

Densité de la dissolution de chlorure de zinc.	Rapport de la force électromotrice à sa valeur maximum.	Rapport de l'effet Peltier à sa valeur maximum.
1,255	1	1
1,70	0,724	0,709
1,90	0,247	0,244
2,044	0,053	0,051

Les autres métaux se prêtent mal à des vérifications de ce genre, parce que les actions secondaires qui se produisent interviennent à la fois pour modifier l'état des surfaces et pour produire des dégagements de chaleur parasites qu'il est impossible de calculer exactement [1].

Sur une nouvelle pince à tourmalines; par M. Bertin.

La pince à tourmalines est le plus simple de tous les appareils de polarisation; mais elle doit à sa simplicité même quelques défauts, et en particulier son champ exigu, qui ne permet de s'en servir que pour un bien petit nombre de cristaux. J'ai cherché à augmenter ce champ, parce que j'ai éprouvé le besoin de le faire dans mes recherches particulières, et j'y suis parvenu en appliquant à la pince à tourmalines une partie des lentilles du microscope polarisant.

Le microscope polarisant est, comme on sait, fòrmé de deux parties : la première se compose du polariseur et du focus; la seconde est formée par le microscope et l'analyseur. Le polariseur et l'analyseur, qui sont aux extrémités, sont des pièces d'assez grand volume; si on les remplaçait par deux tourmalines placées entre le focus et le microscope, qui seraient encore simplifiés, l'appareil deviendrait beaucoup plus petit et serait tout à fait portatif. Tel est le principe de la nouvelle pince à tourmalines. Elle est représentée en demi grandeur dans les *fig.* 1 et 2. La première est une coupe; la seconde représente la face antérieure.

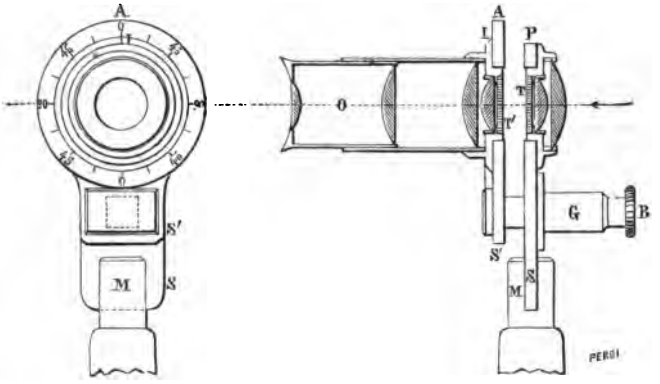
Les tourmalines sont portées sur deux supports S et S′. Le premier, S est fixé dans un manche en ébonite M, que l'on tient à la main et que nous supposerons vertical. Le second, S′, peut être éloigné du premier en pressant sur un bouton B, à tige carrée, qui glisse dans une glissière à ressort G : disposition empruntée à l'ancien microscope solaire de Soleil père. C'est entre ces deux supports que l'on place les cristaux à observer.

---

[1] Le Mémoire dont les deux Notes qui précèdent sont le résumé a été publié dans le *Journal de Physique*, t. IX, p. 229-241 et p. 306-320.

Le premier support, S, porte le polariseur et son focus, et, par conséquent, il doit être tourné contre la lumière. Il se termine par un anneau P, dans lequel est enchâssée la tourmaline polariseur T, qui est fixe et réglée de manière que son axe soit horizontal ou perpendiculaire au manche M. En avant de la tourmaline se trouve le focus, formé par une demi-boule L et une lentille plan-convexe L′: c'est le focus du microscope polarisant simplifié. Remarquons, en passant, que la première lentille, L, pourrait être ajoutée utile-

Fig. 1. Fig. 2.



ment aux pinces ordinaires; elle n'augmente pas le champ de l'instrument, mais elle sert de disperseur pour la lumière incidente et permet de voir les franges le soir à la lumière d'une bougie et le jour en fixant le disque solaire, ce qui leur donne un éclat incomparable.

Le disque P, qui porte tout le système, a 35^{mm} de diamètre, ce qui est à peu près la dimension des lièges carrés sur lesquels sont montés les cristaux, de sorte qu'on est un peu gêné pour tourner ces lièges entre les deux supports. Il faudra donc diminuer le diamètre de la pince, soit en rognant la lentille L′, soit en diminuant la tourmaline T, qui n'a pas besoin d'être aussi grande.

Le disque A, qui termine le support mobile S′, est plus grand que l'autre : il a 45^{mm} de diamètre. Il est représenté vu de face dans la *fig.* 2. Sa circonférence est divisée en seize parties, et la ligne du zéro est verticale ou parallèle au manche M. Ce disque est percé d'un trou rond dans lequel tourne la monture qui porte le reste de

l'appareil, savoir la tourmaline analyseur T', l'objectif du microscope, composé des deux lentilles L et L', identiques à celle du focus, et enfin un oculaire positif O. La monture de tout le système porte un trait de repère I, et la tourmaline analyseur T' est fixée de manière à avoir son axe dirigé vers ce trait, de façon qu'on peut toujours lire sur le cercle divisé l'angle des deux tourmalines. Ainsi, dans la *fig.* 2, l'index I, étant au zéro, nous indique que les deux tourmalines sont croisées. Cette connaissance de l'angle des tourmalines me paraît indispensable dans l'étude des franges, et la tourmaline analyseur devrait toujours être montée sur un cercle divisé.

L'appareil a été construit sur mes indications par M. Ducretet; mais il n'a pu procéder que par tâtonnements, le calcul d'un système aussi compliqué de lentilles me paraissant impossible. L'oculaire O, notamment, a été pris au hasard sur une lunette; il a 15^{mm} de foyer: il est possible qu'une autre longueur focale soit plus convenable. Je considère cette pince comme très imparfaite; si je la décris aujourd'hui, c'est pour la faire connaître aux constructeurs d'instruments d'Optique, dans l'espoir qu'ils parviendront à l'améliorer. Mais, telle qu'elle est, elle suffit pour l'usage auquel je la destinais, et je la regarde comme un progrès déjà notable sur l'ancienne pince à tourmalines.

Celle-ci, en effet, est très limitée dans ses applications. Pour qu'elle puisse servir à observer les franges d'un cristal, il faut que ce cristal soit suffisamment épais et que ses dimensions latérales ne soient pas trop petites, tandis qu'avec la nouvelle pince je vois très bien les franges d'un cristal qui n'a que 2^{mm} de diamètre et $\frac{1}{4}$ de millimètre d'épaisseur. Le cabinet de Physique de l'École Normale possède une belle collection de cristaux uniaxes : la plupart ne donnent rien avec l'ancienne pince, tandis que tous donnent des franges avec la nouvelle.

C'est bien autre chose avec les cristaux biaxes : aux conditions de dimension et d'épaisseur qui sont nécessaires pour les observer dans la pince ordinaire, il faut ajouter un faible écart des axes. Avec la pince ordinaire on ne peut observer que deux cristaux biaxes, le nitre et le plomb carbonaté. L'angle extérieur des axes est de $9°17'$ dans le premier et de $16°44'$ dans le second. Les axes du plomb carbonaté apparaissant à la limite du champ, on peut

donc dire que ce champ est limité à 17° dans la pince ordinaire. L'arragonite, avec ses axes à 30° 50′, ne peut plus être observée, tandis qu'avec la nouvelle pince on voit très bien les franges d'une toute petite lame de calamine, dont les axes sont écartés de 78° 20′. Ainsi, on peut estimer le champ de l'appareil à 78°. Je voudrais pouvoir aller plus loin : je voudrais atteindre 85° pour pouvoir observer les franges si remarquables des sels de Seignette. Je m'en contenterais et je laisserais volontiers de côté les cristaux à axes plus écartés, en les réservant pour le microscope polarisant.

SÉANCE DU 21 MAI 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. du Bourguet (Lucien), à Marseille ;
Étard (Alexandre), à Paris ;
Rivière, préparateur à l'École Normale supérieure.

M. Bouty décrit, au nom de M. Righi, une expérience présentant un cas de magnétisme rémanent de sens contraire au magnétisme temporaire. Ce phénomène se présente avec un barreau d'acier dur de $0^m,05$ de longueur sur $0^m,03$ de diamètre, aimanté dans une bobine de $0^m,05$ de diamètre par le courant de 3 éléments Bunsen.

M. Mascart décrit divers dispositifs employés pour obtenir avec l'électromètre de Thomson l'inscription des résultats. Lorsqu'une des paires de quadrants communique avec le sol et l'autre avec le collecteur de l'électricité atmosphérique, les déviations ne sont pas exactement proportionnelles au potentiel des quadrants chargés. On peut rendre le mouvement du crayon inscripteur proportionnel au potentiel, et non à la déviation, en enroulant le fil qui le conduit sur une roue en spirale. Pour les observations photographiques, on arrive au même résultat en recevant le rayon réfléchi par le miroir

de l'appareil sur une lentille cylindrique dont une moitié est divergente, l'autre convergente.

M. Goulier cite des expériences faites par lui d'où il résulte que le coefficient de dilatation d'un métal reste le même quand le métal est comprimé ou étiré.

M. Bouty rappelle que le même fait peut se conclure de ses expériences sur les thermomètres métallisés.

M. Pellat annonce que, en employant, dans ses expériences sur la force électromotrice de contact des métaux, deux lames du même métal à une température différente, on observe une force électromotrice de contact très grande par rapport à la force thermo-électrique développée.

M. Hospitalier compare les différents modes de montage employés pour exciter l'inducteur des machines à lumière électrique ; le plus avantageux de beaucoup est le montage Wheatstone, dans lequel l'inducteur est placé en dérivation dans le circuit. M. Siemens a fait des expériences concluantes à ce sujet.

M. Bertin donne la théorie des miroirs japonais, dits *miroirs magiques*.

Note sur les miroirs magiques; par M. Bertin,

Avec la collaboration de M. Duboscq.

Les peuples de l'extrême Orient, les Chinois et les Japonais, ne connaissaient pas autrefois d'autres miroirs que les miroirs métalliques, et même aujourd'hui ils n'en fabriquent pas d'autres. Cet objet de toilette est en bronze, de formes et de grandeurs diverses, mais toujours portatif. L'une des faces est polie et toujours un peu convexe, de sorte que les images sont rapetissées ; l'autre face est plane ou légèrement concave et elle est toujours ornée de figures en relief, venues à la fonte, d'un travail plus ou moins parfait. Parmi ces miroirs il en est un très petit nombre qui tirent de leur fabrication une propriété merveilleuse : lorsqu'un rayon de soleil tombe sur la surface polie, s'il est réfléchi contre un écran blanc, il transporte sur cet écran l'image des ornements qui sont sur la face postérieure. Au Japon, d'où nous viennent maintenant ces

miroirs, ni le fabricant qui les fait, ni le marchand qui les vend, ne se doutent de leurs propriétés; mais les Chinois les connaissent depuis longtemps et les apprécient; ils les appellent d'un nom qui signifie *miroirs qui se laissent pénétrer par la lumière*. Nous, nous les appelons *miroirs magiques*.

Les miroirs magiques sont extrêmement rares. On n'en trouve que quatre mentionnés dans les *Comptes rendus* de notre Académie des Sciences. Le premier a été présenté à l'Académie par Arago en 1844; le deuxième et le troisième lui ont été signalés en 1847 par Stanislas Julien et par Person, et le quatrième lui a été présenté en 1853 par Maillard. Il est vrai qu'en 1832 Brewster avait déjà donné une théorie des miroirs magiques; mais cette théorie avait été faite d'après la description d'un miroir de Calcutta, que Brewster n'a jamais eu entre les mains. Enfin, en 1864 et 1865, M. Govi (1) a présenté à l'Académie de Turin deux Notes sur de très belles expériences qu'il avait faites à l'aide de trois miroirs magiques, ce qui porte à sept seulement le nombre de ces miroirs vus en Europe depuis qu'on a pris l'habitude d'y noter les faits scientifiques. Bien peu de personnes donc avaient vu des miroirs magiques lorsque, au mois d'avril, un savant anglais, M. Ayrton, professeur à l'École Polytechnique de Yeddo, vint nous montrer plusieurs de ces miroirs qu'il avait rapportés du Japon. Il les expérimenta avec un plein succès dans les ateliers de M. Carpentier, devant une assistance malheureusement peu nombreuse; puis il repartit pour Londres et nous nous retrouvâmes probablement pour longtemps privés des merveilleux miroirs (2).

Sur ces entrefaites je reçus la visite de M. Dybowski, mon ancien élève, agrégé des Sciences physiques, qui revenait du Japon, où il avait été pendant deux ans le collègue de M. Ayrton (3). Il

---

(1) Les deux Notes de M. Govi sont traduites dans les *Annales de Chimie et de Physique*, cahier de mai 1880.

(2) Le Mémoire de M. Ayrton est traduit dans le même numéro des *Annales*.

(3) Les Japonais ont voulu d'abord avoir des institutions scientifiques à l'instar de celles de l'Europe; malheureusement ils veulent désormais voler de leurs propres ailes et employer comme professeurs les élèves que nous avons formés. La section française de l'École Polytechnique d'Yeddo, où nous avons envoyé trois élèves de l'École Normale, doit être fermée le 1er juillet; la section allemande l'est déjà; la section anglo-américaine subsistera seule encore pour quelque temps.

rapportait comme objets de curiosité quatre *miroirs de temple*, c'est-à-dire des miroirs anciens : ils sont bien supérieurs aux miroirs actuels, la fabrication des miroirs du commerce, écrasée sans doute par la concurrence que lui font les glaces d'Europe, étant devenue très défectueuse. Nous les essayâmes ensemble ; trois étaient circulaires et le plus mince d'entre eux, qui est un disque de $0^m,153$ de diamètre, se trouva légèrement magique.

Pour essayer un pareil miroir, il suffit de le présenter au soleil et de recevoir le faisceau réfléchi sur un carton blanc, à une petite distance, 1^m par exemple. Mais, pour obtenir le maximum d'effet, il faut éclairer le miroir par de la lumière divergente ; le faisceau réfléchi est alors dilaté, puisque le miroir est convexe ; il peut être reçu à une plus grande distance et l'on aperçoit alors sur l'écran une image agrandie des ornements qui sont sur le revers du miroir. Les reliefs du dessin apparaissent en blanc sur un fond sombre. Cette image est ici confuse, parce que le miroir est mauvais ; elle serait très nette si le miroir était parfait, mais je ne connaissais aucun moyen de l'améliorer.

Ce moyen a été indiqué pour la première fois par M. Govi dans la seconde des deux Notes que j'ai citées plus haut ; il est une conséquence de la vraie théorie des miroirs magiques. Cette théorie n'a pas été établie tout d'abord.

Stanislas Julien a trouvé dans un auteur chinois du XIIe siècle de notre ère une explication des effets merveilleux de ces miroirs. L'auteur suppose que le dessin en relief qui est sur le revers est reproduit en creux sur la face polie ; on a ensuite coulé dans les tailles de la gravure un bronze plus fin que celui de la masse et on a poli la surface. C'est l'inégalité du pouvoir réfléchissant des deux bronzes qui produit l'effet magique.

La théorie de Brewster n'est pas notablement différente de cette explication chinoise ; le coulage du bronze fin est seulement supprimé. C'est le polissage qui, en effaçant la gravure, la rend invisible à la lumière ordinaire, tout en laissant au métal des variations de densité ou de pouvoir réflecteur qui rendent l'image visible aux rayons du soleil. Mais Brewster ne savait pas que la surface était amalgamée.

Cette théorie, fort heureusement, n'était pas connue en France lorsqu'on a commencé à parler des miroirs magiques, sans quoi le

grand nom de Brewster aurait peut-être égaré l'opinion. Le premier physicien français qui eut entre les mains un miroir magique, Person, en donna immédiatement la véritable explication. Il s'assura par une expérience directe que la surface polie du miroir n'était pas régulièrement convexe, qu'elle l'était seulement dans les parties correspondant aux creux de la figure du revers, mais qu'elle était plane dans les parties correspondant aux reliefs. « Les rayons réfléchis sur les parties convexes divergent et ne donnent qu'une image affaiblie ; au contraire, les rayons réfléchis sur les parties planes gardent leur parallélisme et donnent un image dont l'intensité tranche sur le reste (1). »

Cette irrégularité de la surface tient à la manière dont les miroirs sont fabriqués et que nous a apprise M. Ayrton. Sorti de la fonte sous la forme d'un disque plan, le miroir, avant d'être poli, est d'abord rayé dans tous les sens avec un outil pointu, et naturellement il lui offre plus de résistance dans les parties épaisses que dans les parties minces. Cette opération le rend d'abord légèrement concave et c'est par la réaction élastique du métal qu'il devient convexe; la convexité est plus sensible dans les parties minces que dans celles qui correspondent aux reliefs du dessin. Cette irrégularité de la surface n'est pas sensible à la lumière diffuse, tandis qu'elle peut, dans les miroirs minces, produire l'effet magique par la réflexion d'une lumière très vive, comme celle du soleil ou de la lampe oxyhydrique. Il en est de même de tous les miroirs mal travaillés. Une lame de plaqué d'argent donne d'excellentes images, tandis que, si on lui fait réfléchir le soleil, on aperçoit dans la section du faisceau réfléchi tous les coups de marteau qu'elle a reçus quand on l'a planée. C'est un vrai miroir magique, seulement l'image réfléchie est irrégulière, tandis que celle du miroir japonais est régulière comme le dessin du revers.

C'est pour renverser définitivement la théorie de Brewster et appuyer par cela même celle de Person que M. Govi a fait ses expériences. Malgré l'intérêt qu'elles présentent, je ne veux pas les rapporter ici, puisqu'on peut les lire dans les *Annales ;* je rappellerai seulement la dernière et la plus curieuse, celle qui consiste à chauffer le miroir par derrière. Les parties minces doivent s'échauf-

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* 21 juin 1847.

fer plus rapidement que celles qui sont en relief; elles deviendront plus convexes, les irrégularités de la surface seront plus accentuées et l'effet magique sera augmenté ; il pourra même se produire dans les miroirs qui étaient d'abord inertes.

Lorsque j'eus pris connaissance des deux Notes de M. Govi, je proposai à M. Duboscq de s'associer à moi pour répéter d'abord les expériences du savant italien et pour étudier en général la question si intéressante des miroirs magiques, avec l'espoir de pouvoir les reproduire dans ses ateliers. Tel a été, en effet, le résultat définitif de notre collaboration.

Nous n'avions d'abord à notre disposition que le miroir rapporté du Japon par M. Dybowski et qui donnait, par la réflexion des rayons solaires, des images confuses. Ces images deviennent très nettes quand on chauffe le miroir par derrière avec un bec de gaz, et le miroir devient tout à fait magique.

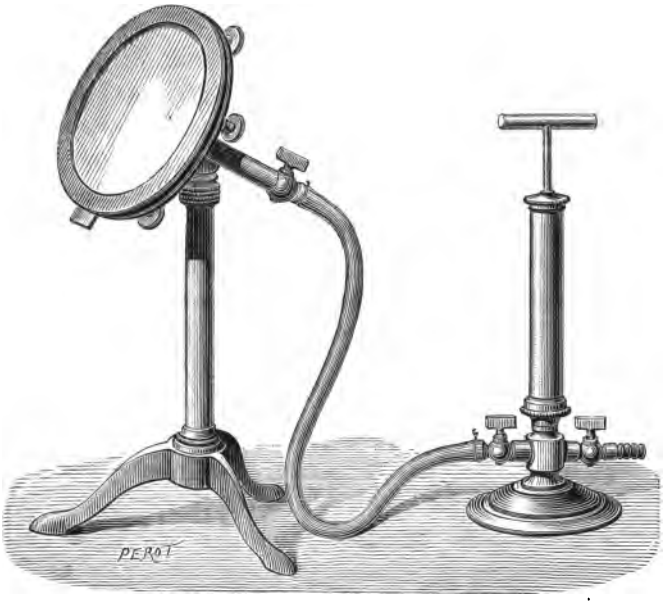
Nous l'avons ensuite fait mouler et reproduire, non pas en bronze japonais, mais en bronze ordinaire. Un premier exemplaire a été travaillé brutalement sur le tour, à la manière japonaise, pour le rendre magique; mais il s'est cassé. Un second a été travaillé doucement dans un bassin, puis la surface polie a été nickelée; mais il n'était pas magique. Seulement il a pris cette propriété à un très haut degré quand on l'a chauffé, et même il en a gardé des traces depuis qu'il a été chauffé plusieurs fois. Plusieurs miroirs japonais, que nous avons pu nous procurer, nous ont donné des résultats analogues.

On a gravé des lettres derrière de petits miroirs japonais de forme rectangulaire; quand le miroir était chauffé, ces lettres apparaissaient noires dans l'image. Quand on faisait un trait autour des ornements du revers, le miroir chauffé devenait tout à fait magique, parce que le dessin ressortait encadré par le trait noir qui limitait les contours des figures.

Ainsi, l'application de la chaleur est certainement très efficace pour rendre les miroirs magiques; mais elle n'est pas sans inconvénients. D'abord elle détériore les miroirs, qui perdent leur poli, surtout lorsqu'ils sont amalgamés. Ensuite on n'arrive pas toujours à chauffer le miroir partout également et les images sont déformées. Nous avons pensé que le changement de courbure qu'il s'agit de produire s'obtiendrait bien plus uniformément par la pression.

M. Duboscq a donc construit une boîte plate en laiton, fermée d'un côté par le miroir métallique et de l'autre par un disque portant à son centre un ajutage qu'on peut relier par un tube en caoutchouc avec une petite pompe à main (*fig.* 1). Cette pompe est à la fois

Fig. 1.



aspirante et foulante. Si le caoutchouc est attaché au robinet de compression, quelques coups de piston suffisent pour comprimer l'air suffisamment dans la boîte; le miroir devient de plus en plus convexe, le cône de rayons réfléchis s'ouvre de plus en plus, et, dans la partie où il frappe l'écran, l'image du revers apparaît de plus en plus nette. Notre miroir japonais donne alors de très belles images; la copie qui en a été faite, et qui ne donne rien à l'état ordinaire, devient un miroir magique aussi parfait que tous ceux que M. Ayrton nous a montrés. Un miroir en laiton nickelé, derrière lequel sont gravées des figures en creux à côté d'ornements en relief formés par des lames de fer-blanc soudées, devient très magique par la pression et donne en même temps l'image noire des dessins en creux et l'image blanche des dessins en relief.

C'est là ce que j'appellerai l'image *positive*. On peut aussi avoir

une image *négative* ou inverse de la précédente en raréfiant l'air dans la boîte à pression, et pour cela il suffit d'attacher le caoutchouc au robinet d'aspiration de la pompe. Le jeu de celle-ci raréfie l'air dans la boîte, le miroir devient concave, la section du faisceau réfléchi devient plus petite, et l'image du revers est amoindrie et change de caractère ; les reliefs viennent en noir et les creux en blanc.

Ces expériences exigent une lumière intense. Un bec de gaz est insuffisant ; mais la lumière Drummond suffit parfaitement. On l'intercepte avec un écran percé d'un trou pour que le faisceau divergent qui tombe sur le miroir ne soit pas trop dilaté ; le miroir, qui est mobile sur son support, renvoie ce faisceau soit au plafond, soit sur un écran. Les effets sont beaucoup plus brillants et plus nets avec le soleil. Quand on présente le miroir au porte-lumière, le faisceau lumineux ne le couvre pas tout entier; il convient de le dilater avec une lentille qui fait converger les rayons solaires en avant du miroir, de sorte que celui-ci reçoit toujours des rayons divergents.

En résumé, en copiant les miroirs japonais, on peut faire maintenant des miroirs dont quelques-uns sont magiques, et on peut les rendre tous magiques par la pression. La boîte à pression, avec un miroir métallique façon japonaise, surtout s'il porte à la fois des ornements en relief et des dessins en creux, constitue un appareil des plus curieux et dont la place est marquée dans tous les cabinets de Physique.

Nous ne nous arrêterons pas là. Un de ces jours, pendant que notre miroir sera rendu magique par la pression, nous voulons faire mouler la surface polie, et nous la ferons reproduire par la galvanoplastie. Cette surface aura toutes les irrégularités de celle du miroir magique et produira dans les rayons réfléchis l'image d'ornements qui n'existeront plus.

Sur un cas de polarité rémanente de l'acier opposée à celle de l'hélice magnétisante qui la produit; par M. Aug. Righi.

On sait que le rapport entre le magnétisme rémanent et le magnétisme temporaire d'une barre d'acier enveloppée par une bo-

bine magnétisante devient de plus en plus petit si la barre est de plus en plus courte et grosse. Or, à ce propos, une théorie générale des phénomènes magnétiques, dont je m'occupe depuis quelque temps, m'a conduit à une étrange conséquence, qui est en opposition avec les faits connus, mais que l'expérience a confirmée de tout point. Voici la conséquence : *Si l'on prend des barres d'un même acier et de même diamètre, mais de longueurs décroissantes, on doit arriver à une certaine longueur qui ne donne pas de magnétisation, pendant qu'avec des longueurs moindres on doit obtenir une polarité rémanente opposée à celle de la bobine.*

Je me bornerai, quant à présent, à indiquer ce fait inattendu. Il n'est pas difficile de vérifier que toute barre d'acier recuit dont la longueur est un peu plus grande que le diamètre présente le phénomène de la magnétisation inverse. Voici toutefois les dimensions d'un de mes appareils et quelques détails pratiques qui assurent la réussite de l'expérience. On prend une barre d'acier recuit, extrêmement brachypolaire, selon la dénomination de M. Jamin, soit longue de $0^m,050$ et ayant $0^m,030$ de diamètre. On l'entoure par une bobine d'à peu près même longueur, formée de fil de $0^{mm},5$, et d'environ $0^m,050$ de diamètre extérieur. Deux ou trois couples Bunsen sont suffisants. Pour étudier la polarité, on se sert du système mobile d'un galvanomètre à réflexion ou, pour des expériences démonstratives, d'une petite boussole ayant son aiguille très mobile et une longueur de quelques millimètres. On ferme le courant dans un godet de mercure, et, après l'avoir ouvert, on approche la barre, tenue perpendiculaire au méridien, à l'aiguille ou au galvanomètre. Ces détails ne sont pas inutiles, car il est possible d'obtenir dans la barre la polarité dans le sens ordinaire en opérant d'une manière particulière.

Si le courant est très fort, le phénomène de la polarité anomale ne se produit qu'après avoir magnétisé la barre, quelquefois dans les deux sens. Tout cela a été prévu avant l'expérience, et j'en réserve l'explication complète pour le travail annoncé plus haut.

SÉANCE DU 4 JUIN 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Thiercelin, à Paris.
Wiedemann (Eilhard).

M. P. Germain adresse une Note sur l'effet électrolytique d'une pile puissante sur les sulfures phosphorescents. Il a constaté qu'au moment où ces corps venaient d'être obtenus par la méthode humide il se formait une quantité assez grande de petits granules autour des cristaux principaux. Les sulfures ainsi traités peuvent impunément rester à l'air libre sans perdre notablement de leurs qualités phosphorescentes. Il n'en émane aucune odeur de soufre, et la lumière en est jaune, même sur un fond demi-transparent exposé à la lumière solaire diffuse ou à toute autre lumière artificielle.

Le silicate d'alumine liquide est éminemment propre à fixer ces sulfures et à leur permettre de rendre un éclat presque rayonnant.

M. Carpentier présente un frein funiculaire qui n'exige pas, comme le frein de Prony, un réglage fait à la main.

M. Cornu expose quelques-uns des résultats auxquels l'ont conduit ses recherches sur la variation de la limite ultra-violette du spectre solaire avec l'altitude.

Frein funiculaire; par M. Carpentier.

C'est en construisant les moteurs électriques de M. Marcel Deprez que j'ai imaginé l'appareil que je vais décrire, voulant me rendre un compte exact du travail produit par ces moteurs.

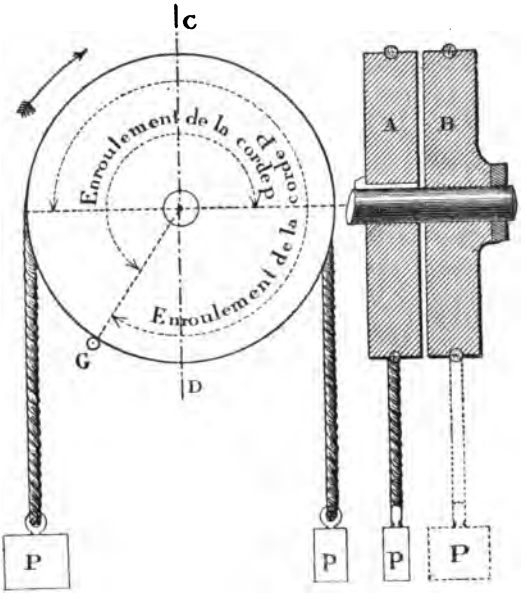
En principe, cet appareil est un *frein de Prony à serrage automatique*. Ce résultat est obtenu par l'application ingénieuse de la loi du frottement des cordes, loi d'après laquelle le frottement d'une corde croît beaucoup plus vite que l'arc d'enroulement de cette corde sur sa poulie.

L'appareil se compose de deux poulies montées sur l'arbre même du moteur à essayer : la première A est calée sur l'arbre et est entraînée par le mouvement de rotation, la seconde B est folle.

Une corde très flexible, portant un petit poids p, est fixée à la jante de la poulie B et s'enroule sur A ; une seconde corde portant un poids P est enroulée sur la poulie B, à laquelle elle est attachée sur un point de sa circonférence.

Voici comment fonctionne l'appareil. Si le frottement augmente,

Fig. 1.



la poulie calée A tend à entraîner la poulie folle B et fait diminuer l'arc d'enroulement de la corde p ; mais l'entraînement de B force la corde P à s'enrouler davantage sur B, jusqu'à ce que la résistance opposée fasse équilibre à l'augmentation de frottement produite.

Si le frottement diminue, la poulie A enroule davantage p, et, par suite, l'arc d'enroulement de la corde P diminue aussi.

Cette disposition établit donc un réglage du frein automatique et parfait ; elle permet de déterminer avec une très grande exactitude la valeur du travail développé sur l'arbre moteur.

En donnant le même diamètre aux poulies A et B, l'expression du travail *par seconde* est donnée par la formule

$$T = \frac{\pi dn}{60}(P - p),$$

formule dans laquelle T est le travail développé par seconde en kilogrammètres, d le diamètre des poulies en mètres, n le nombre de tours par minute, P le poids accroché au brin de la poulie B en kilogrammes, p le poids accroché au brin de la poulie calée A en kilogrammes.

En employant de petites cordes, le frein est plus spécialement destiné aux petites forces, ne dépassant pas quelques kilogrammètres. Pour des forces plus grandes, on remplace les cordes par des rubans d'acier.

Les moteurs électriques de M. Marcel Deprez sont tous munis d'un frein de ce système, qui permet de se rendre compte en quelques instants du travail qu'ils développent en fonction de leur vitesse et des piles qui leur sont appliquées.

Nous donnons ci-dessous une série d'expériences faites par ce procédé sur deux modèles du moteur Deprez alimentés par des éléments Bunsen plats, modèle Ruhmkorff. Le travail est exprimé en kilogrammètres.

Nombre des éléments.	Moteur.	
	Petit modèle.	Moyen modèle.
2	0,20	0,40
3	0,45	0,75
4	0,75	1,10
5	1,10	1,50
6	»	1,90
7	»	2,30
8	»	2,70

L'emploi de ce frein est tout dicté dans l'étude des moteurs de

petite puissance, car il résout le problème de la mesure du travail avec autant d'élégance que de simplicité.

Sur l'absorption atmosphérique des radiations ultra-violettes; par M. A. Cornu.

I. *Sur la limite ultra-violette du spectre solaire.* — Je me suis proposé, depuis plusieurs années, d'obtenir la limite extrême du spectre solaire du côté ultra-violet, c'est-à-dire du côté des courtes longueurs d'onde. La connaissance exacte de la limite du spectre ou plutôt de la loi suivant laquelle décroît l'intensité du spectre continu idéal de la photosphère apporterait, sur la difficile question de la température du Soleil, des données au moins aussi importantes que les mesures thermiques correspondant aux radiations à grande longueur d'onde.

Malheureusement, comme on va le voir, l'atmosphère exerce sur les radiations à courte longueur d'onde une absorption si énergique, que la majeure partie du spectre solaire ultra-violet est, pour ainsi dire, brusquement interceptée d'une manière complète; l'étude que je m'étais proposée est donc actuellement impossible sous la forme simple que j'avais imaginée. Néanmoins, les résultats obtenus en vue de ces recherches présentent quelque intérêt, même au point de vue auquel je m'étais primitivement placé; ils jettent, en tout cas, un certain jour sur l'allure probable de l'absorption atmosphérique à l'autre extrémité du spectre, moins facile à étudier, et montrent que le phénomène thermique est plus complexe que ne le suppose le mode expérimental généralement adopté pour l'évaluation de la température du Soleil.

Pour rester dans le domaine des faits et de leurs conséquences les plus immédiates, je me bornerai ici à donner un résumé succinct des expériences à l'aide desquelles j'ai cherché à obtenir photographiquement la limite ultra-violette du spectre solaire, l'analyse des conditions qui permettraient de reculer un peu cette limite et les vérifications expérimentales qui en dérivent.

Mode d'observation. — Le spectroscope dont je me sers généralement est composé d'un collimateur et d'une lunette, dont les

objectifs sont respectivement formés par une lentille plan-convexe de quartz (d'environ $0^m,26$ de longueur focale pour la raie D); le prisme est en spath d'Islande : on utilise le rayon ordinaire, dont la dispersion est assez grande.

Au foyer de la lunette, on place une plaque fluorescente de verre d'urane pour la vérification approchée des réglages et finalement une petite glace sensibilisée par du collodion humide. La durée d'exposition varie, suivant les cas, de deux à six minutes, pour obtenir la limite extrême du spectre.

Au moyen d'un héliostat dont le miroir est remplacé par un prisme réflecteur en quartz, on concentre le faisceau de lumière sur la fente du collimateur, à l'aide d'une lentille de quartz.

La limite du spectre est variable suivant l'état de l'atmosphère, la nature du collodion employé et la durée d'exposition; mais en choisissant les plus belles journées, en adoptant un collodion de composition constante et une durée d'exposition toujours la même, on obtient des séries très comparables (¹). Voici un exemple d'observation :

11 *septembre* 1878. *Observation faite à Courtenay* (*Loiret*). *Latitude*, 48° 2′ 20″; *durée d'exposition, deux minutes et demie. Clichés renforcés une fois.*

h m 10.30 matin.....	295,5	h m 3.40 soir.....	302,0
0. 2 soir.....	295,0	4.17 »	304,5
1.18 »	295,5	4 38 »	307,0
1.50 » ...	297,0	5. 2 »	312,0
3. 9 »	299,0	5.14 »	315,0?

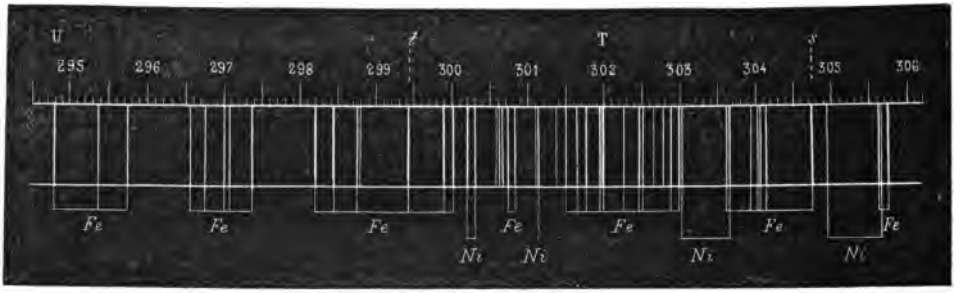
(¹) La composition du collodion et du révélateur que j'ai toujours employés de préférence est la suivante :

Collodion (mêler sans précaution et agiter).	Pyroxyle	1gr	Révélateur.	Eau distillée...	1000cc
	Alcool.....	40cc		Sulfate de fer..	40gr
	Éther.....	60cc		Alcool..... ...	30cc
	Iodure de cadmium.	1gr		Acide acét. crist.	30cc
	Brom. de cadmium.	0gr,25			

Le bain d'argent sensibilisateur contient de 7 à 8 pour 100 d'azotate d'argent. Pour renforcer le cliché, on ajoute quelques gouttes d'un bain d'argent à 2 pour 100 au révélateur.

La limite du spectre est exprimée en longueurs d'onde, par comparaison avec la Carte que j'ai construite au moyen des observations faites pendant l'été de 1877, et dont je reproduis ici la partie utile.

Fig. 1.



D'après le Tableau précédent, on voit que l'étendue du spectre diminue avec la hauteur du Soleil, ce qui tend à prouver que c'est à l'absorption de l'atmosphère qu'est due cette limitation.

Après divers essais faits d'après cette manière de voir, j'ai été conduit à représenter par la courbe suivante les résultats des observations. On porte comme abscisse la longueur d'onde limite observée et comme ordonnée le *logarithme du sinus de la hauteur du Soleil* (on sait que les épaisseurs atmosphériques traversées par les rayons solaires sont sensiblement en raison inverse du sinus de la hauteur du Soleil). L'ensemble des points ainsi définis se trouve pour une même journée réparti sur une courbe à fort peu près rectiligne; les divergences proviennent d'altérations momentanées de la transparence de l'atmosphère.

La construction des points correspondant à plus d'une centaine d'observations aux diverses heures de la journée m'a conduit à adopter comme ligne moyenne la droite qui passe par le point ($\sin h = 0,49$ et $\lambda = 300$) et parallèle à la direction définie par deux points ($\sin h = 0,75$, $\lambda = 295$; $\sin h = 0,30$, $\lambda = 306$) relevés sur une courbe dont les ordonnées représentaient les sinus des hauteurs vraies du Soleil au début de l'observation. On en déduit l'équation empirique $\sin h = 0,49 . 10^{-0,036175(\lambda-300)}$, ou, si l'on calcule avec des logarithmes népériens, $\sin h = 0,49\, e^{-0,08330(\lambda-300)}$.

La limite la plus éloignée que j'aie pu obtenir correspond à la

longueur d'onde 293; elle a été atteinte avec certitude deux fois seulement, le 24 juin et le 18 août 1878, aux environs de midi. Les radiations de $\lambda = 294$ à 295 ont été atteintes bien des fois de mai à septembre 1877 et 1878, et récemment encore dès le 5 mai 1879.

Malgré les nombreux essais faits dans les meilleures conditions, soit à Paris, soit à la campagne, il m'a été impossible d'aller plus loin.

Lorsqu'on examine les causes d'erreur qui peuvent modifier systématiquement les résultats, on reconnaît que la durée d'exposition des clichés est à peu près la seule qu'on ait à redouter dans l'appréciation de la limite du spectre; or il se présente une circonstance extrêmement favorable : c'est que l'effet photographique se produit pour ainsi dire dans les premiers instants, de sorte que la prolongation de l'exposition n'ajoute que peu à l'étendue des radiations agissantes. C'est ce que j'ai établi par une série méthodique d'expériences, parmi lesquelles je citerai la suivante comme typique :

16 *octobre* 1878. *Courtenay*. $11^h 47^m$, T. M.

Durée de l'exposition (quatre épreuves sur le même cliché).	Longueur d'onde limite du côté ultra-violet.	Différences.
1^s.....	$\lambda = 306,5$	
5.....	301	5,5
20..	298,5	2,5
100.....	297,5	1,0

Ainsi, les durées d'exposition variant à peu près en progression géométrique, les variations de la limite perceptible diminuent très rapidement; d'après la loi que suivent les différences, pour reculer la limite seulement d'une demi-unité, il faudrait plus que quadrupler la durée d'exposition et la porter à cinq ou six cents secondes ou dix minutes. Aussi l'expérience a-t-elle montré qu'il était à peu près indifférent de dépasser deux à trois minutes pour la durée de l'exposition lorsque le temps est bien pur; lorsque l'on craint le passage de brumes légères, il est plus prudent de prolonger cette durée jusqu'à six minutes, afin d'augmenter les chances d'éclaircie.

Analyse des conditions qui permettraient de reculer la limite

de l'observation. — La limitation du spectre ultra-violet paraissant due à l'absorption atmosphérique, peut-on espérer, en se plaçant dans des conditions plus favorables, reculer notablement la limite de visibilité? Nous allons voir, par l'analyse des conditions de l'expérience, que, d'après les faits observés, on ne doit pas attendre une amélioration bien considérable ou du moins en rapport avec les difficultés matérielles qu'il faudrait affronter.

Exprimons l'intensité P de l'impression photographique en fonction des éléments qui la déterminent; nous admettrons que l'intensité P, pour des valeurs très petites (les seules sur lesquelles nous ayons ici à raisonner), est proportionnelle à l'intensité J_λ de la radiation de longueur d'onde λ et à une fonction particulière de λ et du temps t; $P = J_\lambda F(\lambda, t)$. Cette fonction F représente la *sensibilité* de la couche impressionnable. Si la radiation, avant d'agir, est transmise par un milieu d'épaisseur ε ayant le pouvoir de transmission a_λ pour la radiation λ, l'intensité devient I_λ; $I_\lambda = J_\lambda a_\lambda^\varepsilon$, $a_\lambda < 1$. Le milieu absorbant étant limité par une surface sensiblement plane, la direction de transmission faisant un angle h avec le plan, on a

$$\varepsilon = \frac{l}{\sin h};$$

l est l'épaisseur normale du milieu absorbant supposé homogène; s'il n'est pas homogène, mais formé de couches parallèles de densité variable δ, l représente la hauteur équivalente calculée par la formule $l\delta_0 = \int \delta dz$, δ étant la densité correspondant à l'épaisseur z et δ_0 étant la densité choisie pour l'évaluation de la *hauteur réduite l*, car c'est la quantité de la matière traversée, et non sa répartition, qui produit l'absorption. Substituant dans la valeur de P, on a

$$(1) \qquad P = J_\lambda F(t, \lambda) a_\lambda^{\frac{l}{\sin h}}.$$

Il y a trois fonctions inconnues de λ, à savoir J, F et a_λ; la forme particulière sous laquelle elles se présentent permet de les éliminer à l'aide de l'équation empirique fournie par les observations dont il a été question plus haut. En effet, on a déterminé pour un même lieu ($l = l_1$) la loi qui lie les hauteurs h du Soleil à la longueur d'onde limite λ observée, c'est-à-dire à celle qui donne l'impression photographique limite $P = w$; w est alors une constante,

la même pour toutes les valeurs de λ. Prenant le logarithme des deux membres de l'équation précédente, où $P = w$, $t = T$, durée constante de l'exposition,

$$\log w = \log J_\lambda + \log F(T, \lambda) + \frac{l}{\sin h} \log a_\lambda,$$

qui se réduit à la forme $\frac{\sin h}{l} = \psi(w, T, \lambda)$, puisque J_λ est une fonction de λ (J_λ représente la loi qui lie l'intensité de la radiation avec la longueur d'onde dans le spectre continu idéal de la photosphère).

Mais l'expérience a montré que dans le même lieu ($l = l_1$), pour une durée de pose constante ($T = \text{const.}$), la limite d'impression ($w = \text{const.}$) était donnée par la loi $\sin h = 0,49 e^{-0,08330(\lambda - 300)}$, ou de la forme

$$\sin h = M e^{-m(\lambda - \lambda_0)}.$$

Substituant cette valeur de $\sin h$ et celle de l, la formule devient

$$(2) \qquad \frac{\sin h}{l} = \frac{M e^{-m(\lambda - \lambda_0)}}{l_1}.$$

Variation de la limite avec l'altitude. — Si l'on se reporte à la formule primitive (1), on voit que l'absorption est d'autant moindre que la hauteur solaire est plus grande et que l'épaisseur l est plus petite. On doit donc, en diminuant l'épaisseur atmosphérique, c'est-à-dire en augmentant l'altitude z du lieu d'observation, étendre la limite de visibilité du spectre.

La formule (2) donne précisément la loi cherchée, c'est-à-dire l'étendue gagnée avec l'altitude. En effet, la quantité l est, à un facteur près, représentée par le poids d'une colonne atmosphérique ayant l'unité de base comme section; si donc on désigne par p la pression barométrique, on aura $l = Ap$, où la loi de décroissance de la pression avec l'altitude est donnée par une expression de la forme $p = p_0 e^{-\frac{z}{z_0}}$, z_0 étant la constante barométrique. Il vient finalement

$$\sin h = M e^{-m(\lambda - \lambda_0) - \left(\frac{z - z_1}{z_0}\right)},$$

formule qui donne la loi approchée qui existe entre la longueur

d'onde de la radiation du spectre solaire à la limite de visibilité pour une hauteur donnée h du Soleil et l'altitude z du lieu d'observation.

Nous pouvons maintenant savoir ce que l'on gagne par l'accroissement de l'altitude, à hauteur égale du Soleil; il suffit d'écrire que l'exposant de e est constant.

La longueur d'onde de la radiation limite et l'altitude sont donc liées par une fonction linéaire, de sorte que leurs variations finies ou infiniment petites sont proportionnelles; le coefficient de proportionnalité est $-mz_0$,

$$dz = -663^{m},3\,d\lambda;$$

en substituant, $z_0 = 7963^{m}$ (constante de Ramond, 18336^{m}, multipliée par le module des logarithmes vulgaires, ou 0,434294) et $m = 0,0833$.

Ainsi on a chance de reculer la limite de visibilité des radiations d'une quantité correspondant à une unité (millionième de millimètre) dans la longueur d'onde lorsqu'on s'élève de $663^{m},3$ en altitude.

Ce gain est, relativement à la longueur du spectre que donnent les étincelles d'induction ou l'arc électrique, extrêmement faible. Si l'on songe que l'on ne peut guère faire d'observations régulières au-dessus de 4000^{m} d'altitude, on voit que le gain calculé n'atteint que six unités ou environ la moitié de la différence qui se présente de l'hiver à l'été; le résultat obtenu serait donc encore bien loin de correspondre aux efforts à dépenser pour aller installer des appareils à une altitude aussi grande.

II. *Observation de la limite ultra-violette du spectre solaire à diverses altitudes.* — Je me suis proposé d'étudier par l'expérience directe la variation de cette limite, en installant mes appareils ordinaires d'observation en différents points des Alpes, à des altitudes convenablement choisies.

J'aurais désiré atteindre une altitude aussi grande que celle à laquelle plusieurs observateurs ont porté leurs appareils pour l'étude de la radiation calorifique du Soleil, par exemple au sommet du mont Blanc ou du Breithorn. Malheureusement, je reconnus bientôt que cela était presque impossible dans le cas de mes expé-

riences : les manipulations photographiques exigent une installation spéciale, des abris contre le vent et la lumière, et les observations, pour être concluantes, demandent un temps beaucoup plus long que celui pendant lequel on peut rester dans ces hautes régions.

Devant ces difficultés, qu'on ne pourrait surmonter qu'avec de grandes dépenses, j'ai cru devoir me contenter pour cette fois d'altitudes modérées (2600^{m}), mais réunissant des conditions relativement confortables, afin de pouvoir, pendant toute la journée, effectuer à loisir une série complète d'observations. J'ai pensé que ce que l'on perdrait par défaut d'altitude serait largement compensé par le soin et la tranquillité d'esprit que l'observateur apporterait à ses opérations.

Mettant à profit les indications données par plusieurs savants habitués aux expériences dans les montagnes, je me suis installé d'abord au Riffelberg, dans le massif du mont Rose, à une altitude de 2570^{m}. Cette station, où se trouve un hôtel convenable, est l'une de celles où les probabilités de temps clair sont les plus grandes. J'ai été très favorisé sous ce rapport, car j'ai eu trois belles journées consécutives, les 24, 25 et 26 juillet, pendant lesquelles j'ai obtenu vingt-neuf clichés du spectre solaire.

L'étude de l'influence de l'altitude étant en réalité une mesure différentielle, mesure à effectuer sur un élément très délicat et très fugace, il faut, pour arriver à une conclusion valable, non seulement que l'appareil d'observation soit le même, mais encore que les circonstances de toute nature soient aussi identiques que possible. En conséquence, je tâchai de réaliser une véritable mesure différentielle en transportant mes appareils à quelques kilomètres du Riffelberg, mais à 2000^{m} en contre-bas. Je m'installai dans le petit village de Viège, au confluent de la vallée de Zermatt et de la vallée du Rhône (altitude, 657^{m}), et pendant la magnifique journée du 28 juillet 1879 je pus obtenir une série de quatorze clichés.

Dans ces conditions, la comparabilité des résultats est aussi complète que possible : mêmes appareils, même installation improvisée, par suite mêmes erreurs systématiques, mêmes conditions atmosphériques. Aussi la différence de position de la limite ultraviolette est-elle très nette ; on en verra plus loin la valeur numérique.

Enfin, comme contre-épreuve, je répétai les observations au Rigi (à moitié chemin entre le Rigi Staffel et le Rigi Kulm, à 1650^m d'altitude). La journée du 1er août fut très belle jusqu'à 2^h, puis des brumes légères survinrent, comme cela arrive fréquemment dans ces parages. J'obtins une série de dix clichés; la limite observée aux environs de midi est intermédiaire entre celles observées au Riffelberg et à Viège. Les jours suivants ne furent pas assez purs pour permettre de faire des observations utiles.

L'examen micrométrique des clichés a donné les résultats suivants pour les limites extrêmes du spectre solaire ultra-violet; ils sont exprimés en longueurs d'onde :

	λ.	Altitude.
Riffelberg.....	293,2	2570^m
Rigi.....	294,8	1650
Viège..	295,4	660
Différence (Riffel-Viège).	—2,2	1910

Les nombres ci-dessus étant très comparables entre eux, on peut en tirer une valeur directe du coefficient d'accroissement de visibilité avec la hauteur, que j'avais déduit des observations faites à Paris (50^m d'altitude) ou à Courtenay (Loiret) (170^m environ). Ce coefficient, calculé d'après la formule empirique qui lie la limite ultra-violette à la hauteur du Soleil, a été trouvé plus haut égal à 663^m; les résultats ci-dessus montrent que ce coefficient est trop faible. En effet, la différence d'altitude de 1910^m entre Viège et le Riffel n'a reculé la limite que de 2,2 unités, ce qui correspond à 868^m d'accroissement d'altitude par unité.

La belle série du 25 juillet, faite au Riffelberg, permet d'obtenir une valeur très approchée de ce coefficient d'accroissement. L'ensemble des résultats est représenté par une expression de la forme

$$\sin h = M e^{-m(\lambda-\lambda_0)},$$

dans laquelle $m = 0,11256$. On en conclut, suivant l'analyse exposée précédemment,

$$dz = -m z_0 d\lambda \quad \text{ou} \quad dz = -896^m,3\, d\lambda.$$

Telle est la valeur théorique de ce coefficient, fondée sur des

données précises. L'observation directe donne 868^{m}, en partant des observations du Riffel et de Viège : la concordance est donc aussi satisfaisante qu'on peut la souhaiter dans l'évaluation numérique de phénomènes aussi délicats et constitue une vérification des calculs théoriques qui lient les phénomènes observés en un seul point avec ceux qu'on observe à diverses altitudes.

III. *Démonstration directe de l'absorption des radiations ultra-violettes par l'atmosphère.* — La théorie précédente suppose que c'est l'atmosphère qui absorbe les radiations ultra-violettes suivant une progression extrêmement rapide lorsque la longueur d'onde diminue. J'ai réussi à montrer par une expérience directe cette absorption des radiations très réfrangibles.

Un tube de 4^{m} de longueur, fermé à ses deux extrémités par deux lames de spath fluor, a été intercalé entre le collimateur et le prisme du spectroscope formé par des objectifs et des prismes de quartz.

Devant la fente du collimateur on fait jaillir une forte étincelle d'induction entre deux électrodes d'aluminium et l'on observe le spectre soit avec un oculaire fluorescent, soit avec un oculaire photographique : l'aluminium donne le spectre le plus étendu qu'on connaisse; les trois derniers groupes de raies sont les derniers termes de l'échelle conventionnelle bien connue (*Journal de Physique*, t. VIII, p. 187). Lorsque le tube est plein d'air, on ne voit aucune trace de la raie 32 du spectre de l'aluminium; mais, si l'on fait progressivement le vide, la raie 31 gagne notablement en intensité, la raie 32 apparaît bientôt et finalement surpasse en éclat la raie 31; la raie 30, qui varie extrêmement peu, sert de repère et rend très faciles ces appréciations relatives d'intensité. Si on laisse rentrer l'air dans le tube, les mêmes phénomènes se reproduisent en ordre inverse.

Ainsi, l'absorption des radiations très réfrangibles par l'atmosphère est démontrée : l'explication admise pour rendre compte de la variation de la limite ultra-violette du spectre solaire est donc légitime.

IV. *Sur la loi de répartition suivant l'altitude de la substance*

absorbant dans l'atmosphère les radiations solaires ultra-violettes. — Les résultats précédents peuvent se résumer ainsi :

1° La longueur d'onde λ de la radiation à la limite de visibilité photographique observée dans le spectre ultra-violet, lorsque le Soleil est à une hauteur h au-dessus de l'horizon, est donnée empiriquement par une expression de la forme

$$\log \sin h = m\lambda + n,$$

m et n étant deux constantes; de sorte que, si l'on prend le logarithme sinus de la hauteur du Soleil comme ordonnée et la longueur d'onde comme abscisse, la ligne représentative des points ainsi définis, correspondant aux diverses heures de la journée, est une droite.

2° A des altitudes croissantes, la droite représentative se déplace parallèlement à elle-même, proportionnellement à la variation d'altitude, dans le sens d'un accroissement de visibilité du spectre; le taux de la progression q est d'environ $868^m,2$, c'est-à-dire qu'à hauteur égale du Soleil on voit reculer d'une unité (millionième de millimètre) sur l'échelle des longueurs d'onde la limite visible lorsqu'on s'élève de $868^m,2$, de sorte que l'équation de la droite prend la forme

$$(3 \qquad \log \sin h = m\left(\lambda + \frac{z}{q}\right) + n.$$

La loi représentée par (3) ne peut être, à un point de vue rigoureux, qu'une loi approximative; on peut toutefois se demander quelles conséquences on pourrait en déduire si on la considérait comme exacte, sinon comme valeur numérique des coefficients, du moins comme forme mathématique; envisagée à ce point de vue, elle impose à la constitution optique de l'atmosphère des conditions qu'il est intéressant de mettre en évidence, car elles peuvent caractériser la nature des substances qui exercent l'absorption et les lois qui régissent ce phénomène.

Pour traiter la question par le calcul, on ne peut pas, avec le nombre restreint des données expérimentales dont nous disposons, aborder le problème de la constitution de l'atmosphère dans toute sa généralité; nous allons nous borner au cas simple, et d'ailleurs très vraisemblable, dont voici l'énoncé :

On supposera que le pouvoir absorbant de l'atmosphère (formée de couches horizontales) est dû à une substance unique ou à un mélange homogène, entrant dans l'air pour une proportion variable et inconnue suivant l'altitude.

Le problème étant ainsi posé, les résultats précédents suffisent à déterminer la loi inconnue de répartition de la matière absorbante avec l'altitude et à exclure par là même certaines causes auxquelles on pouvait attribuer jusqu'ici l'absorption des radiations ultra-violettes.

Voici les résultats auxquels on parvient en traitant la question par le calcul (¹) :

La masse de la matière absorbante est à chaque altitude proportionnelle à la pression barométrique, par conséquent *dans un rapport constant avec la masse de l'air atmosphérique.*

Ce résultat exclut immédiatement la vapeur d'eau comme matière absorbant les radiations ultra-violettes. En effet, le poids de la vapeur d'eau est loin d'être en rapport constant avec le poids de l'atmosphère : la proportion diminue au contraire rapidement avec l'altitude.

On conclut des formules empiriques qui donnent le poids d'eau hygrométrique avec l'altitude que, *si l'absorption des radiations ultra-violettes était due exclusivement à l'action de la vapeur d'eau distribuée avec l'altitude suivant la loi que l'expérience indique, l'accroissement de visibilité du spectre solaire ultra-violet serait d'une unité (millionième de millimètre) sur l'échelle des longueurs d'onde pour un accroissement d'altitude de* $286^{m},9$. L'observation directe ayant donné trois fois plus, c'est-à-dire une unité pour $868^{m},2$, il y a lieu de rejeter la vapeur d'eau comme cause exclusive de l'absorption des radiations ultra-violettes.

Il est fort curieux que la vapeur d'eau, qui paraît jouer le rôle prédominant dans l'absorption des radiations peu réfrangibles du spectre, ne soit pas la substance qui exerce l'influence principale dans l'absorption des radiations ultra-violettes.

(¹) Voir *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XC, séance du 26 avril 1880.

J'ai tenu à vérifier ce résultat par une expérience directe : j'ai constaté que l'air saturé d'humidité à 15° et l'air soigneusement desséché, observés sous une épaisseur de 4^m dans l'appareil précédemment décrit (*Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 1290), ne présentent aucune différence appréciable dans l'absorption qu'ils exercent sur les radiations très réfrangibles du spectre de l'aluminium.

L'eau, à l'état liquide, agit également d'une manière très différente sur les deux extrémités du spectre. M. Soret a montré, en effet, que l'eau distillée est parfaitement transparente pour les radiations très réfrangibles (*Archives de Genève*, mars 1878), puisqu'une colonne d'eau distillée de $1^m,16$ laisse passer la radiation n° 28 (spectre du zinc, $\lambda = 206$) ; au contraire, pour les radiations infra-rouges, l'eau est si opaque, d'après les expériences de notre confrère M. Desains, que $0^m,01$ d'épaisseur enlève au spectre calorifique des métaux incandescents la moitié de leur longueur et les trois quarts de leur intensité (*Comptes rendus*, t. LXXXIV, p. 286).

SÉANCE DU 18 JUIN 1880.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juin est lu et adopté.

Le Président annonce la mort de M. Gaugain et rappelle ses travaux sur l'électricité.

M. Dufet présente, au nom de M. Laurent, un saccharimètre à pénombre perfectionné. Un diaphragme muni d'une ouverture de $0^m,002$ et d'une lentille éclairante sert de source lumineuse; il est fixé à l'appareil de telle façon que la lumière traverse la dissolution sucrée sous forme de faisceaux parallèles, ce qui supprime la réflexion sur les parois. Le pied est d'une seule pièce. Les obturateurs en verre sont maintenus par des ressorts, ce qui évite la double réfraction accidentelle que produisait parfois la pression des écrans employés auparavant à cet usage. L'éloignement de la flamme éclairante permet d'employer comme polariseur un nicol,

au lieu du prisme biréfringent, dont la seconde image est parfois gênante.

M. Laurent a construit un éolipyle à alcool qui peut remplacer le bec Bunsen dans les endroits où le gaz manque ou bien où il n'a pas une pression suffisante.

M. Goulier présente le profilographe de M. Dumoulin. Cet appareil se compose d'un chariot que l'on fait rouler sur le terrain dont on veut tracer le profil. Le chariot porte un papier qui se déplace sous un crayon d'une quantité proportionnelle à la projection horizontale du chemin parcouru. En même temps, le crayon se déplace perpendiculairement au mouvement du papier, de telle façon que l'inclinaison de la ligne tracée par le crayon soit proportionnelle à la pente du terrain. Le mouvement des roues du chariot produit le mouvement du papier ainsi que celui du crayon; il se transmet à l'un et à l'autre organe à l'aide de deux molettes qui se déplacent le long du rayon de deux disques moteurs qui les commandent et qui sont commandés par la roue du chariot. Le déplacement radial des molettes est commandé par un pendule qui reste vertical lorsque le chariot s'incline. Des organes appropriés permettent de contrôler les effets de l'usure et de multiplier par un grand bras de levier l'effet du frottement entre la molette et le disque. Les oscillations accidentelles du pendule pendant la marche ne produisent pas d'effet sensible; elles ne font qu'augmenter insensiblement la largeur du trait.

M. Gouy développe quelques considérations théoriques sur la polarisation rotatoire et l'hypothèse de Fresnel.

Sur la polarisation rotatoire et l'hypothèse de Fresnel; par M. Gouy.

Dans ses travaux sur la polarisation rotatoire, Fresnel a souvent pris pour guide une hypothèse bien connue sur la constitution optique des milieux actifs, et ce point de vue l'a conduit à la découverte de la double réfraction circulaire. Depuis lors, on a souvent regardé ce phénomène comme donnant une preuve expérimentale de la réalité de l'hypothèse qui l'a fait découvrir. Je me propose d'en donner ici une théorie indépendante de toute hypothèse.

Il nous suffira d'examiner le cas simple où un seul prisme de quartz, dont l'axe optique est normal à la face d'entrée des rayons, est placé dans un milieu indéfini, isotrope et inactif. Nous prendrons trois axes rectangulaires, la face d'entrée pour plan des xy et l'arête réfringente pour axe des y. L'onde incidente est plane et parallèle à la face d'entrée ; les vibrations y sont rectilignes et parallèles à l'axe des x ; la vitesse vibratoire sur la face d'entrée est $a \sin 2\pi \frac{t}{T}$, t étant le temps et T la durée d'une vibration.

En un point quelconque A pris en dehors du prisme sur la face de sortie, la vibration réelle sera encore rectiligne, comme le montre l'expérience. La phase sera proportionnelle à la distance z du point A à la face d'entrée, où les mouvements sont concordants ; elle sera donc $2\pi \frac{z}{\lambda}$, en appelant λ un coefficient caractéristique du quartz, qui se trouve défini par cette expression, et que nous envisagerons à ce seul point de vue. Pour simplifier les formules, nous choisirons notre milieu indéfini de telle sorte que la longueur d'onde y soit précisément λ. La direction de la vitesse au point A fait, avec la direction qu'elle aurait si, la phase demeurant la même, le pouvoir rotatoire ρ devenait nul, un angle égal à ρz. En définitive, les projections de cette vitesse sur les axes des x et des y sont respectivement

$$a \cos \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda}\right),$$

$$a \sin \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda}\right).$$

Soient une direction donnée faisant avec l'axe des z un petit angle α, et sur elle un point B à une grande distance R du point A. La vitesse au point B, calculée d'après les principes de la diffraction, aura respectivement pour projections sur les axes des x et des y, m étant un facteur constant qu'il est inutile de calculer,

$$V = m \int_0^Y \int_0^X \cos \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z + R}{\lambda}\right) dx\, dy,$$

$$V' = m \int_0^Y \int_0^X \sin \rho z \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z + R}{\lambda}\right) dx\, dy.$$

Si la hauteur Y du faisceau incident est assez grande, ces intégrales n'ont de valeur sensible que lorsque la direction donnée est normale à l'arête réfringente, ce que nous supposerons réalisé. De plus, nous nous bornerons ici au cas où le faisceau est suffisamment large, c'est-à-dire, où l'on a X très grand par rapport à $\frac{1}{\rho \operatorname{tang} \omega}$.

Il vient alors, tous calculs faits, pour $\alpha = \frac{\lambda \rho \operatorname{tang} \omega}{2\pi}$,

$$V = \frac{m}{2} XY \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda}\right),$$

$$V' = \frac{m}{2} XY \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda}\right).$$

Ce sont les équations d'une vibration circulaire. On aura de même, pour $\alpha = -\frac{\lambda \rho \operatorname{tang} \omega}{2\pi}$, une vibration circulaire d'égale amplitude, mais de rotation inverse. En dehors de ces deux directions, la vitesse est négligeable.

Ainsi, notre faisceau incident s'est divisé en deux faisceaux polarisés circulairement et en sens contraires. On s'assurera, en continuant le calcul, qu'on retrouve tous les autres caractères du phénomène ; on verra, par exemple, qu'un faisceau incident polarisé circulairement donne un seul faisceau émergent de même rotation. Il y a donc accord complet entre ces résultats et ceux auxquels conduit l'hypothèse de Fresnel.

Ainsi, le phénomène découvert par Fresnel n'est qu'une conséquence nécessaire de la polarisation rotatoire. Ce dédoublement remarquable, qui, dans les idées de Fresnel, est une double réfraction, devient, si on l'envisage au point de vue des faits eux-mêmes, un phénomène de diffraction d'un genre particulier.

On peut, par des considérations analogues, faire la théorie des phénomènes d'interférence où interviennent des milieux actifs, et ici ce point de vue va nous permettre de rectifier une erreur échappée à Fresnel.

Une plaque de quartz à faces perpendiculaires à l'axe reçoit sous l'incidence normale une onde homogène, plane et polarisée rectilignement. Sur la face de sortie nous aurons des vibrations rectilignes partout identiques. Elles enverront à un point extérieur

quelconque une certaine vibration résultante, à laquelle nous ne changerions rien en enlevant la plaque, et substituant à la face de sortie une onde plane, limitée par le même contour, et sur laquelle les vibrations seraient ce qu'elles étaient sur la face de sortie. Nous pouvons donc regarder la plaque comme se laissant traverser par l'onde incidente, en produisant sur elle un changement de phase et une rotation du plan de polarisation. Le premier effet peut être produit par une plaque d'un corps inactif; ainsi, les corps actifs jouent dans les phénomènes d'interférence le même rôle que les corps inactifs, sauf la rotation ordinaire du plan de polarisation.

Cette conclusion est en désaccord avec l'explication que l'on donne, d'après Fresnel, d'expériences faites par Arago et par lui-même; cette difficulté mérite toute notre attention.

Pour fixer les idées, nous considérerons les franges de Young produites dans la lumière polarisée rectilignement au moyen de deux petites ouvertures égales O et O'. Nous observons les franges sur un plan très éloigné; soit A un point de ce plan; notre plaque de quartz est normale aux rayons qui vont de O et de O' en A. Dans le langage de Fresnel, le rayon qui va de O en A se dédouble dans le quartz en deux rayons circulaires inverses D et G; de même, le rayon venant de O' se dédouble en deux rayons D' et G'. Il y a donc quatre combinaisons à considérer: D avec D', G avec G', D avec G', G avec D'. Elles donneront quatre systèmes de franges d'interférence. Le premier et le deuxième se superposent évidemment: ce sera, dans la lumière blanche, le système central. Le troisième et le quatrième seront des systèmes latéraux, visibles seulement avec un analyseur. Tel est, en substance, le raisonnement de Fresnel.

Comme on le voit, ces systèmes de franges sont regardés comme indépendants. On s'y trompe aisément si l'on ne considère que la lumière blanche; mais, dans la lumière homogène, on reconnaît que les systèmes latéraux, pris ensemble, ne sont qu'une forme nouvelle de l'expression du système central. Pour le démontrer, il suffit de traduire le raisonnement en formules.

Prenons trois axes rectangulaires, le plan des ouvertures pour plan des xy, l'axe des x parallèle à la vibration de l'onde incidente. Soit $a \sin 2\pi \frac{t}{T}$ la vitesse vibratoire aux deux ouvertures. Calculons

les vitesses apportées au point A par les rayons D, D′, G et G′, et composons ces vitesses en une seule, comme nous avons le droit de le faire, puisque ces rayons sont issus d'une même onde polarisée. En appelant δ la différence des distances OA et O′A, E l'épaisseur du quartz, λ_0 la longueur d'onde dans l'air, λ_1 et λ_2 celles des deux circulaires inverses dans le quartz, il vient, pour les projections V et V′ de la vitesse au point A sur les axes des x et des y, à un facteur constant près,

$$V = \cos\pi\frac{\delta}{\lambda_0}\cos\pi E\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_2}\right)\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\varphi\right),$$

$$V' = \cos\pi\frac{\delta}{\lambda_0}\sin\pi E\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_2}\right)\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\varphi\right),$$

φ étant indépendant de t.

C'est l'expression d'un système unique de franges, polarisé rectilignement dans un même plan, et entièrement indépendant de E, sauf pour la direction du plan de polarisation. On pourrait donc supprimer le quartz sans y changer autre chose que cette direction. Dans la lumière blanche, il y a une seule frange centrale, donnée par la condition $\delta = 0$.

L'expérience a paru longtemps d'accord avec l'aperçu de Fresnel, qu'elle avait d'ailleurs précédé, et c'est même la cause évidente de la méprise que nous venons de reconnaître. En effet, avec la lumière blanche et un analyseur, on voit deux systèmes latéraux de franges colorées. Mais M. Righi a montré par des expériences concluantes que, dans la lumière homogène, on n'a qu'un seul système de franges, et que les franges latérales, dans la lumière blanche, proviennent de ce que certaines couleurs se trouvent éteintes par le passage du faisceau polarisé à travers un quartz épais suivi d'un analyseur, ce qui fait reparaître les franges en des points où il n'y avait qu'un éclairement uniforme. Ainsi l'expérience est bien d'accord avec notre calcul.

William Grossetête
Ingénieur

SÉANCE DU 2 JUILLET 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. David (André), à Saint-Étienne ;
Duboscq (Albert), constructeur d'instruments de Physique, à Paris ;
Gouré de Villemonté, professeur à l'École normale de Cluny ;
Odinot, professeur au collège d'Épinal.

Le Président annonce la mort de M. Lissajous, l'un des fondateurs de la Société. Il rappelle en quelques mots les principaux travaux scientifiques de M. Lissajous.

Le Président communique à la Société : 1° une Lettre de M. le Président du Conseil d'administration des Salins du Midi, annonçant que le Conseil a accordé à la Société de Physique une somme de 1000^{fr}; 2° une Lettre de M. le Président du Conseil d'administration des Chemins de fer du Midi, qui annonce également une subvention de 2000^{fr}.

La Société charge le Président d'exprimer tous ses remercîments pour ces dons généreux, dont on peut espérer que l'exemple sera imité par d'autres Compagnies industrielles.

M. Javal communique un moyen facile et assez exact de mesurer l'astigmatisme.

M. Émile Reynier présente une nouvelle pile voltaïque à courant constant.

Avec 50 couples montés dans la salle des séances, M. Reynier fait fonctionner successivement un voltamètre, des moteurs électriques Gramme et Deprez, une grande bobine Ruhmkorff et un régulateur Serrin. Un fil de platine de $0^{m},65$ de long et de $0^{mm},5$ de diamètre a été maintenu à l'incandescence blanche pendant

plus d'une heure sans que le galvanomètre Deprez intercalé dans le circuit accusât aucune variation d'intensité.

M. Deprez fait fonctionner un moteur électrique à mouvement alternatif basé sur l'attraction exercée sur un cylindre de fer doux par un solénoïde. Des moteurs de ce genre ont été déjà réalisés par MM. Page en Amérique, Bourbouze et du Moncel en France; mais ce qui distingue l'appareil de M. Deprez des précédents, c'est que le courant y conserve toujours le même sens et la même intensité, et que l'aimantation du cylindre en fer doux n'est jamais interrompue ni inversée. Ce résultat est obtenu en fractionnant le solénoïde dans lequel se meut le piston de fer doux en un grand nombre de petites bobines partielles, comme celles qui constituent l'anneau de la machine Gramme. Un commutateur approprié est mis en mouvement par un excentrique circulaire.

M. Hospitalier montre un culot d'acier fondu en quatre minutes par l'arc voltaïque dans les ateliers de M. Siemens. Le courant était produit par deux machines Siemens mues par un moteur de 8 à 10 chevaux et valant de 70 à 80 webers. Le courant passait entre un creuset de charbon et une tige de charbon qui se relevait automatiquement dès que la résistance tendait à diminuer.

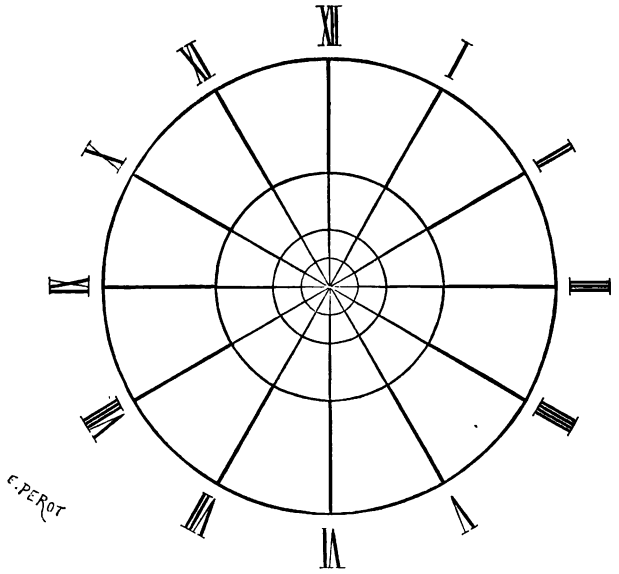
Mesure de l'astigmatisme; par M. le Dr Javal.

Parmi toutes les causes de fatigue de la vue, aucune n'est aussi souvent méconnue que l'astigmatisme, sans doute par suite de la difficulté qu'on éprouve à choisir exactement les verres cylindriques correcteurs de ce défaut.

Le Tableau ci-contre permet de mesurer approximativement l'acuité visuelle, la myopie, la presbytie et l'astigmatisme. Pour l'acuité visuelle, la myopie et la presbytie, l'emploi du Tableau s'explique de lui-même. Quelques explications ne seront pas inutiles pour ce qui concerne la mesure de l'astigmatisme.

Pour mesurer l'astigmatisme, tenant le cercle à $0^m,25$ de l'œil, on le fait tourner dans son plan jusqu'à ce que le diamètre qui paraît le plus noir soit dirigé de midi à 6^h; à ce moment, la force de l'astigmatisme est donnée par la différence de rang entre

Fig. 3.



m								
0,25...	0	1	2	3	4	5	6	7
0,50.....		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
1.....				0	0,25	0,50	0,75	1
2.....								0

Dioptries.	Numéros.	Dioptries.	Numéros.	Dioptries.	Numéros.
1.....	40	7.....	$5\frac{5}{7}$	13.....	$3\frac{1}{13}$
2.....	20	8.....	5	14.....	$2\frac{6}{7}$
3.....	$13\frac{1}{3}$	9.....	$4\frac{4}{9}$	15.....	$2\frac{2}{3}$
4.....	10	10.....	4	16.....	$2\frac{1}{2}$
5.....	8	11.....	$3\frac{7}{11}$	18.....	$2\frac{2}{9}$
6.....	$6\frac{2}{3}$	12.....	$3\frac{1}{3}$	20.....	2

les carrés des deux files qui paraissent encore striés. On peut renouveler la même expérience à $0^m,50$ de distance, mais alors les rangs des carrés sont exprimés par les chiffres de la seconde ligne : une différence d'un rang n'indique plus qu'une demi-dioptrie d'astigmatisme. On peut procéder de même à 1^m, en se servant des chiffres de la troisième ligne. Suivant les cas, pour l'une ou l'autre des expériences, qui se contrôlent mutuellement, il est utile de corriger préalablement la myopie ou la presbytie par des verres sphériques appropriés.

Il est utile de corriger l'astigmatisme à partir d'une demi-dioptrie, d'une dioptrie ou d'une dioptrie et demie, selon l'âge ou la profession des personnes qui en sont affectées; à partir de deux dioptries le défaut cause toujours une gêne très appréciable.

Pile voltaïque énergique et constante, fournissant des résidus susceptibles d'être régénérés par électrolyse; par M. Émile Reynier.

Le zinc de cette pile plonge dans une solution de soude caustique; l'électrode négative, qui est en cuivre, est dépolarisée par une dissolution de sulfate de cuivre, séparée de la liqueur alcaline par une cloison perméable. Le couple ainsi constitué est constant; sa force électromotrice est assez élevée : $1^{volt},3$ à $1^{volt},5$, selon la concentration des liqueurs.

Les solutions de soude et de sulfate de cuivre ont une conductibilité médiocre; j'ai diminué leur résistance par l'addition de sels convenablement choisis. D'autre part, j'ai notablement réduit la résistance de la cloison poreuse en adoptant pour sa fabrication le papier parcheminé, déjà utilisé dans le même but par M. F. Carré [1].

Je superpose plusieurs feuilles de ce papier pour modérer sa perméabilité, et je fais mes vases poreux en forme de prismes rec-

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXVI, p. 612.

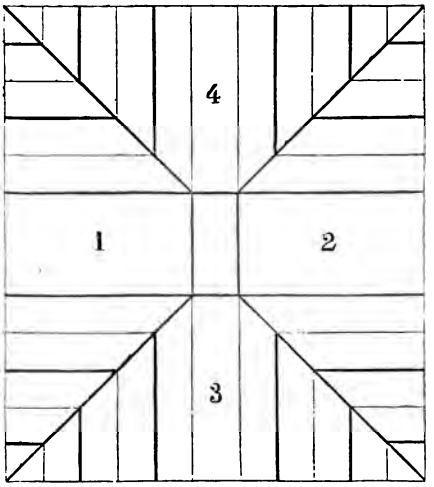
tangulaires aplatis, afin de donner aux électrodes des surfaces efficaces relativement grandes.

Ces vases prismatiques sont obtenus, sans collage ni couture, par le procédé suivant : au milieu de la feuille de papier parcheminé devant servir à la construction du vase, on trace la base du prisme ; à chacun des côtés de ce polygone et à une distance égale à la hauteur du vase, on mène des parallèles dont l'ensemble forme un polygone plus grand, que l'on découpe. Ensuite on forme le vase en plissant les portions du septum placées en dehors du développement géométrique, les plis étant appliqués et agrafés sur celles des faces du vase qui doivent être peu ou point perméables.

La *fig.* 1 représente en perspective le vase poreux rectangulaire ; la *fig.* 2 le montre développé et étalé sur le plan de sa base, les

Fig. 1.

Fig. 2.



plis creux étant indiqués par des traits forts et les plis saillants par des traits fins.

Ce moyen de fabrication est applicable à des récipients prismatiques de base quelconque. Par exemple, un vase octogonal (*fig.* 3) serait obtenu au moyen du développement tracé *fig.* 4.

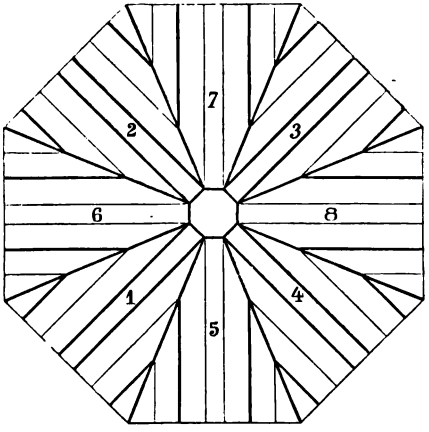
Qu'il me soit permis de signaler, en passant, l'usage que les chimistes pourront faire de ces vases dans les opérations d'osmose.

Le zinc (*fig.* 5) et le cuivre (*fig.* 6) de la pile sont découpés

sans perte dans les feuilles laminées du commerce; les queues sont relevées dans le morceau, ce qui offre le double avantage d'éviter

Fig. 3.

Fig. 4.



une jonction et de livrer passage à la circulation des liquides. Le

Fig. 5.

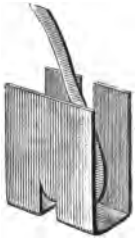


Fig. 6.

cuivre est placé à l'extérieur, comme on le voit sur le dessin d'ensemble (*fig.* 7).

La force électromotrice initiale du couple zinc ordinaire et cuivre, monté avec mes liqueurs, est $1^{volt},47$; elle descend jusqu'à $1^{volt},35$ après une longue fermeture en court circuit. La résistance est $0^{ohm},075$ dans le modèle représenté *fig.* 7, dont la hauteur est $0^{m},20$ et la capacité de 3^{lit}.

Pour déterminer le rang que cette pile occupe dans la série des

couples auxquels on pourrait la comparer, j'ai dressé la liste de ces piles, en indiquant, pour chacune d'elles, la force électromotrice E, la résistance intérieure R et le *travail extérieur maximum* T, exprimé d'abord en kilogrammètres par seconde, valeur calculée au moyen de l'expression

Fig. 7.

$$T = \frac{E^2}{4gR}.$$

En divisant les valeurs en kilogrammètres par l'équivalent mécanique de la chaleur, on a obtenu les valeurs du travail en calories (gramme-degré), inscrites dans la dernière colonne du Tableau.

Désignation des piles.	Constantes. E en volts.	Constantes. R en ohms.	Travail. T en kilogrammètres.	Travail. T en calories.
Pile Bunsen, modèle ordinaire rond, hauteur $0^m,20$.....	1,80	0,24	0,344	0,796
Pile Bunsen rectangulaire modèle Ruhmkorff, hauteur $0^m,20$.....	1,80	0,06	1,378	3,189
Pile Daniell modèle rond, hauteur $0^m,20$.....	1,06	2,80	0,010	0,023
Pile horizontale W. Thomson [1], électrodes de 12^{dmq}	1,06	0,20	0,143	0,331
Pile cylindrique F. Carré, hauteur $0^m,60$.....	1,06	0,12	0,238	0,551
Pile Reynier, modèle rectangulaire, hauteur $0^m,20$...	1,35	0,075	0,619	1,440

[1] Alf. Niaudet, *Traité de la pile électrique*, 2e édition, p. 98.

On voit que mon nouveau couple rectangulaire de $0^m,20$ surpasse en énergie les plus grandes piles à sulfate de cuivre et sulfate de zinc ; il est environ deux fois plus fort que le couple Bunsen rond ordinaire des laboratoires et n'est surpassé que par le couple Bunsen rectangulaire modèle Ruhmkorff.

Le zinc n'est pas amalgamé ; néanmoins, il n'est pas attaqué en circuit ouvert par la liqueur alcaline qui le baigne ; par conséquent, le poids du zinc consommé est en parfait accord avec la dépense théorique et peut donner la mesure de la quantité d'électricité dégagée.

La nouvelle pile, ai-je dit, n'émet pas de produits volatils ; par conséquent elle contient, après fonctionnement, toutes les substances employées, autrement combinées, mais sans perte. Il est donc possible de *régénérer* ces produits, c'est-à-dire de les ramener à peu près à l'état neuf. Il faut, pour cela, faire traverser les liquides épuisés par une quantité d'électricité peu supérieure à celle qui a été dégagée par la pile, en dissolvant le cuivre déposé et déposant le zinc dissous.

En demandant à des machines magnéto-électriques l'électricité nécessaire à la revivification, le renouvellement des liquides et des métaux de la pile est ramené à une dépense de force motrice. Économiquement produite dans l'usine de régénération à l'aide de puissantes machines, l'électricité se trouvera emmagasinée dans les liquides régénérés à l'état d'énergie disponible et transportable. Ce transport indirect de l'électricité engendrée par les machines serait, dans la plupart des cas, plus praticable et plus avantageux que la transmission directe par câbles.

Actuellement, en n'employant que des liquides neufs, le nouveau couple offre déjà une notable économie de matière et de main-d'œuvre sur les couples à acide nitrique.

Quant à la réalisation industrielle du procédé de régénération qui doit rendre ma pile économiquement applicable aux petits moteurs électriques et à l'éclairage privé, elle est encore retardée par certaines difficultés d'ordre pratique qui ne me paraissent pas insurmontables.

SÉANCE DU 16 JUILLET 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Godefroy (l'abbé), professeur au Séminaire de La Chapelle (Loiret).

M. Persoz dépose un pli cacheté qui est accepté par la Société sous toutes réserves.

Le Secrétaire général signale un nouvel avertisseur téléphonique proposé par l'abbé Godefroy. Le principe de cet appareil est déjà connu : il consiste à faire parler le téléphone récepteur par un courant de pile rapidement interrompu; mais ce qui recommande la disposition imaginée par M. Godefroy, c'est son extrême simplicité. L'interprétation du courant auxiliaire est produite à l'aide d'une lime et d'un fil qu'on promène à sa surface et le bruit produit est si intense qu'on peut l'entendre à l'air libre à une distance supérieure à 100^m.

M. Trouvé décrit la méthode qu'il emploie pour obtenir des aimants rectilignes ou des aimants en fer cheval d'une force portative constante qui est, par exemple, de 15 fois leur poids pour les aimants droits et de 45 pour les aimants en fer à cheval. Il choisit pour les former l'acier qui offre le plus fort magnétisme rémanent avant la trempe, et il trouve que, dans les conditions où il s'est placé, la force portative de l'aimant trempé est à celle de l'aimant non trempé dans un rapport constant quel que soit l'acier employé. L'acier d'Allevard donne les meilleurs résultats.

M. Trouvé décrit et fait fonctionner devant la Société divers modèles de moteurs électriques de son invention dont l'un met en mouvement une machine à coudre.

M. Marcel Deprez élève une réclamation à l'égard de l'un de ces moteurs, analogue à la machine de Ladd et qui est construit d'après

des principes qui ne diffèrent pas essentiellement de ceux qu'il a lui-même indiqués.

M. Joubert communique les résultats de ses recherches sur les courants alternatifs et la force électromotrice de l'arc électrique.

MM. Marcel Deprez et Hospitalier présentent diverses observations sur la mesure de l'intensité des courants alternatifs.

M. Gariel décrit un compteur électrique totalisateur construit par M. Dumoulin-Froment pour les usines à gaz. A l'instant où chacun des compteurs individuels enregistre 1^{mc} de gaz, il ferme un circuit électrique correspondant à un électro-aimant du totalisateur; la palette de celui-ci est munie d'un ressort antagoniste si faible, qu'elle demeure attachée à l'électro-aimant, en vertu de son magnétisme rémanent, jusqu'à ce qu'une cause extérieure agisse pour la détacher. Il y a sur le totalisateur autant d'électro-aimants et de palettes que de compteurs individuels. Un arbre portant autant de cônes, à des distances angulaires constantes les unes des autres et en face des palettes, tourne d'un mouvement uniforme, réglé par un pendule conique. Quand un cône rencontre une palette d'électro-aimant adhérente, elle la détache, et le totalisateur enregistre ce dernier mouvement. Si, par un hasard défavorable, on imagine que les n compteurs individuels enregistrent à la fois, de sorte que toutes les palettes adhèrent au même instant à leurs électro-aimants respectifs, elles ne seront détachées par les cônes que de $n^{ième}$ en $n^{ième}$ tour, et, par suite, l'indication sera répétée n fois sur le totalisateur, tout comme si les compteurs avaient enregistré à des époques différentes.

Sur les courants alternatifs et la force électromotrice de l'arc électrique; par M. J. Joubert.

Les courants alternatifs, tels que les donnent les machines magnéto-électriques du type de l'*Alliance* ou des types plus récents et plus parfaits de Gramme et de Siemens, ont été jusqu'ici peu étudiés, ce qui s'explique par les difficultés qu'on rencontre quand on veut appliquer les méthodes et les instruments ordinaires à des

courants d'une grande intensité et qui changent de sens *cent* ou *deux cents fois* par seconde.

Les méthodes calorimétriques et l'électrodynamomètre peuvent seuls être employés, et encore se présente-t-il, surtout avec ce dernier instrument, des difficultés particulières. Si l'instrument est mis sur le circuit principal, il est difficile, même en le formant de fils très gros et lui donnant des dimensions considérables, de l'empêcher de s'échauffer outre mesure; s'il est mis en dérivation, les effets d'induction du courant sur lui-même mettent en défaut les lois ordinaires des courants dérivés.

Je me suis servi avec beaucoup d'avantage, pour cette étude, de l'électromètre Thomson, en l'employant d'une manière particulière et que je crois nouvelle. Je supprime complètement toute source étrangère d'électricité pour charger soit l'aiguille, soit les cadrans; les deux paires de cadrans sont isolées, et l'une d'elles est mise en communication électrique permanente avec l'aiguille, également isolée.

La formule générale de l'électromètre,

$$d = K(V_1 + V_2)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right),$$

dans laquelle d est la déviation de l'aiguille, V_1 et V_2 les potentiels du cadran, et V celui de l'aiguille, se réduit dans le cas actuel, où $V = V_1$, à

$$d = \frac{K}{2}(V_1 - V_2)^2;$$

la déviation est proportionnelle au carré de la différence des potentiels des deux cadrans, et par suite indépendante du signe de cette différence. Supposons d'abord les cadrans mis en communication avec deux points A et B d'un circuit traversé par un courant continu d'intensité I.

Soient V_1 et V_2 les potentiels des deux points A et B, et R la résistance du conducteur qui les sépare; on a

$$IR = V_1 - V_2. \tag{1}$$

Si entre les deux autres points A′ et B′, au lieu d'un simple conducteur, on a un moteur électrique ou tout autre engin capable de

transformer l'énergie électrique en quelque autre forme de l'énergie, on a à considérer, outre la résistance propre R′ du moteur au repos, la force électromotrice E dont il est le siège pendant le mouvement, et l'équation devient

$$(2) \qquad E + IR' = V'_1 - V'_2.$$

Enfin l'énergie électrique consommée entre les deux points A′ et B′ a pour expression

$$(3) \qquad I(E + IR') = \left[\frac{(V_1 - V_2)(V'_1 - V'_2)}{R}\right].$$

Les valeurs des seconds membres des équations (1) et (2) sont fournies immédiatement et sans calcul par l'électromètre, si on l'a gradué en volts au moyen d'une pile de Daniell.

Un électromètre donnera donc la mesure de l'intensité du courant, et deux électromètres combinés celle de l'énergie consommée par l'engin de transformation.

Si, au lieu d'un courant continu, on a affaire à des courants alternatifs se succédant à des intervalles petits relativement à la durée de l'oscillation de l'aiguille, celle-ci, entraînée toujours dans le même sens, quel que soit le signe du courant, prend une déviation fixe proportionnelle à la moyenne des valeurs successives du carré de $V_1 - V_2$. Cette moyenne est celle que donnerait, abstraction faite des difficultés signalées plus haut, l'emploi des méthodes calorimétriques ou de l'électrodynamomètre. Il faut remarquer qu'elle n'est pas identique à la moyenne proprement dite et que l'écart ne peut être connu que si l'on connaît la loi de variation de $V_1 - V_2$ en fonction du temps [1].

J'ai déterminé cette loi de varition pour une machine Siemens à courants alternatifs. Le principe de la méthode consiste à diviser la période en un certain nombre de parties égales, vingt par

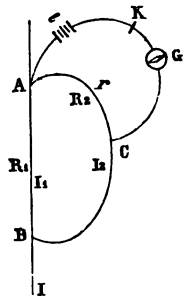
---

[1] Pour faire brûler une bougie Jablochkoff dans les conditions normales (charbons de $0^m,004$, intensité lumineuse équivalant à 50 becs Carcel), il faut un courant dont l'intensité moyenne soit de 8 à 9 webers; la bougie s'éteint quand l'intensité tombe au-dessous de 5 webers; les charbons rougissent dans toute leur longueur quand elle atteint 11 webers. La chute moyenne de potentiel entre les deux charbons varie de 40 à 45 webers.

exemple, correspondant, je suppose, à des intervalles de $\frac{1}{2000}$ de seconde, et à mesurer l'intensité ou la différence de potentiel à chacun de ces instants. A cet effet, un petit interrupteur placé sur l'arbre même de la machine établit à chaque tour un contact qui dure moins de $\frac{1}{20000}$ de seconde. On peut se servir de l'électromètre disposé comme ci-dessus; dans ce cas, il faut deux interrupteurs parallèles établissant le contact rigoureusement au même instant. A chaque révolution de l'arbre, les cadrans sont mis simultanément en relation pendant la durée du contact avec les deux points A et B et se chargent au potentiel que possèdent ces points à l'instant précis du contact. On peut aussi employer un galvanomètre, puisqu'on prend toujours le courant à un même instant de sa période; il suffit alors d'un seul interrupteur, et l'ajustement est plus commode. Voici la disposition que j'emploie :

A et B sont deux points du circuit principal aux extrémités d'une

Fig. 1.



résistance connue R_1 (1^{ohm} environ); ACB forme entre les deux mêmes points une dérivation de résistance connue et graduée R_2 (100^{ohms}) (¹); enfin AKC est une seconde dérivation de résistance quelconque, mais très grande (30000^{ohms}), qui part du point A et vient aboutir à un point variable C de la résistance R_2, de manière à intercepter entre A et C une résistance variable r. Sur cette dérivation se trouvent une pile de force électromotrice e, le galvanomètre (galvanomètre astatique de Thomson, d'une résistance de

(¹) Il est indispensable que les résistances R_1 et R_2 soient rectilignes, pour éviter les extra-courants. La résistance R_2 dont je me sers est constituée par 18^m environ de charbons Carré, de $0^m,003$ de diamètre.

70000^{ohms}), enfin l'interrupteur K, placé sur l'arbre de la machine. On déplace le contact C jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre soit ramenée au zéro. Il faut remarquer que la compensation est indépendante de la façon dont fonctionne l'interrupteur, puisqu'il commande de la même manière le courant à mesurer et celui de la pile qu'on lui oppose. Soient I, I_1, I_2 les intensités du courant dans le circuit, dans la résistance R_1 et dans la résistance R_2 ; on a évidemment

$$e = I_2 r,$$
$$V = I_2 R^2,$$

et par suite

$$V = e \frac{R_2}{r}.$$

D'autre part, les équations

$$I = I_1 + I_2,$$
$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = V$$

donnent

$$I = \frac{e}{r}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right).$$

Tout se réduit donc à la mesure de r aux différentes phases de la période.

J'ajoute qu'une espèce de phénakisticope monté également sur l'arbre de la machine permet de voir l'arc au même instant et pendant le même temps, et d'étudier optiquement la succession des phénomènes dont il est le siège pendant le cours d'une période.

L'expérience m'a donné pour l'intensité une courbe qui se confond presque rigoureusement avec une sinusoïde, sauf une très légère dissymétrie qui tend à déplacer le maximum dans le sens du mouvement. Seulement, cette sinusoïde, au lieu d'avoir la position que lui assignerait la théorie, est déplacée tout d'une pièce, dans le sens du mouvement, d'une quantité égale à un huitième environ de la période entière. Un fait analogue se rencontre dans toutes les machines magnéto-électriques, et on l'attribue ordinairement à un retard dans l'aimantation. L'explication ne peut convenir dans le cas actuel : la bobine induite est une bobine sans noyau de fer doux qui se déplace dans un champ magnétique ; d'ailleurs, le déplacement est indépendant de la vitesse et rigoureusement le même pour des

vitesses de 400, 700 et 1000 tours par minute. Il est dû évidemment à l'induction du courant sur lui-même; le courant principal étant de la forme $A \sin x$, le courant secondaire est de la forme $B \cos x$, et la superposition des deux courants donne un courant de la forme $C \sin(x + y)$, ne différant du premier que par l'intensité et par la phase.

J'ai d'ailleurs obtenu la même courbe d'une autre manière. Sans rien changer à l'inducteur, j'ai mis le système induit en communication avec un galvanomètre Thomson à oscillations non amorties. En donnant à la main au système induit des déplacements successifs égaux entre eux et très petits, et en observant l'arc d'impulsion correspondant, on pouvait mesurer en valeur absolue la quantité d'électricité mise en mouvement dans chaque déplacement, et par suite la force électromotrice d'induction correspondante. La courbe obtenue de cette manière est une sinusoïde qui coïncide avec celle que donne le premier procédé, avec cette différence qu'elle occupe la position normale, les effets d'induction secondaire s'annulant ici exactement dans chacun des déplacements [1].

J'ai analysé de la même manière la chute de potentiel entre les deux charbons aux différentes phases de la période. C'était le moyen de résoudre plusieurs questions d'un grand intérêt. Quelle résistance offre au passage de l'électricité l'espace qui sépare les deux charbons? Le courant traverse-t-il cet espace d'une manière continue ou seulement quand son intensité a dépassé une certaine valeur? L'arc agit-il comme une simple résistance ou, comme l'a annoncé M. Edlung, se comporte-t-il à la manière d'une force électromotrice? L'expérience répond de la manière la plus nette à toutes ces questions. Au moment où l'intensité est nulle dans le circuit, la différence de potentiel entre les deux charbons est éga-

---

[1] L'intensité étant représentée par $C \sin x$, il est facile de vérifier que l'intensité moyenne a pour valeur $\frac{2C}{\pi}$, tandis que la racine carrée de la moyenne des carrés, telle que la fournit l'électromètre, a pour valeur $\frac{C}{\sqrt{2}}$; le rapport des deux moyennes est donc

$$\frac{\frac{A}{\sqrt{2}}}{\frac{2A}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,1\ldots.$$

lement nulle ; mais, dans un temps inappréciable, cette différence atteint une valeur de 40 à 45^{volts}, qu'elle conserve presque sans variation jusqu'au moment où le courant atteint de nouveau une valeur très faible. La chute finale de la courbe est très brusque, mais j'ai pu cependant la suivre dans ses détails ; je n'ai pu en faire autant pour l'élévation du commencement, qui semble se produire d'une façon presque instantanée. J'ai constaté de plus ce fait important, que cette différence de potentiel reste la même non seulement pendant toute la période d'un courant d'intensité moyenne donnée, mais encore quand on fait varier dans de larges limites, de plus du simple au double, l'intensité moyenne du courant. Je dois ajouter cependant que cette différence diminue quand l'intensité du courant augmente et que la variation s'élève au maximum à 4^{volts} ou 5^{volts}.

L'explication de ces faits s'impose d'elle-même. La résistance proprement dite de l'arc est très faible ; elle varie avec la température et diminue quand la température augmente. La différence de potentiel qui existe entre les deux charbons est due, pour la plus grande partie, à une force électromotrice, indépendante de l'intensité et qu'on peut évaluer à 30^{volts}.

Les choses se passent entre les deux charbons comme entre les deux électrodes d'un voltamètre : il s'établit tout d'abord, par un phénomène de polarisation dont je réserve l'explication, une chute fixe de potentiel, et, à partir de ce moment, le travail produit dépend uniquement de la quantité d'électricité qui passe et lui est proportionnel.

J'ajouterai que, si l'arc est produit dans un champ magnétique soumis aux mêmes variations périodiques que le courant et dont la direction soit normale au plan des charbons, la chute de potentiel entre les deux charbons prend une valeur plus grande que dans les conditions ordinaires et croissant avec l'intensité du champ.

Je me contente de signaler ce dernier fait, sans insister sur son explication.

SÉANCE DU 22 OCTOBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Bell assiste à la séance. M. Antoine Breguet répète devant la Société les expériences de photophonie avec des appareils de M. Bell.

Le photophone de Bell; par M. A. Breguet (1).

M. Alexander Graham Bell, le célèbre inventeur du premier téléphone articulant, a fait, il y a peu de temps, au dernier meeting de l'Association américaine, une communication du plus haut intérêt. Sa découverte consiste dans un instrument appelé par lui *photophone,* parce qu'il sert à transmettre les sons par l'intermédiaire d'un rayon lumineux. Tandis que le téléphone ordinaire nécessite des conducteurs métalliques pour joindre entre elles les deux stations en correspondance, le *photophone* récepteur est tout à fait indépendant de son transmetteur. Il suffit qu'un faisceau de lumière puisse traverser l'espace d'un poste à l'autre sans rencontrer aucun obstacle opaque. Encore verrons-nous que cette condition n'est pas rigoureusement absolue et que certaines natures d'écrans n'empêchent pas toujours les communications verbales de s'établir.

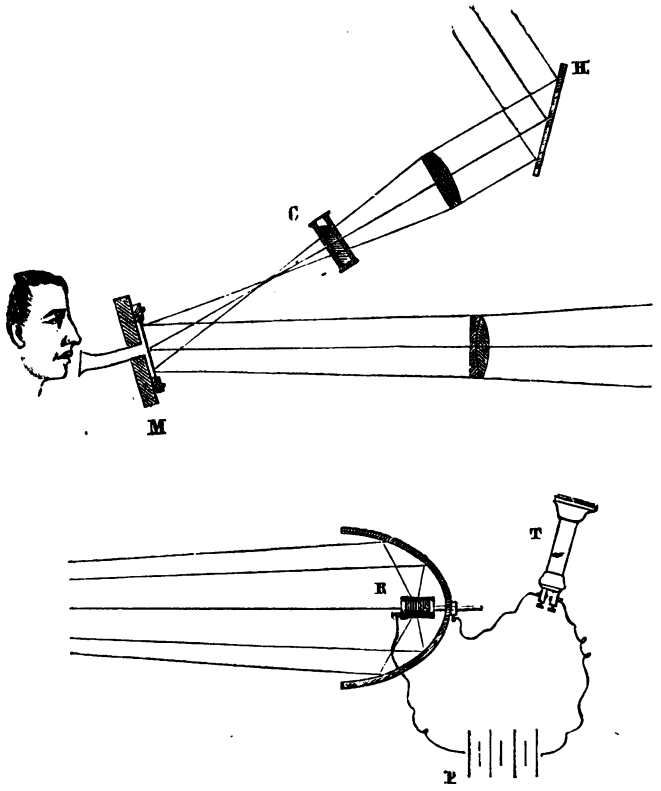
Le principe sur lequel est fondé le photophone est déjà connu depuis plusieurs années. C'est à M. Willoughby Smith que revient l'honneur de l'avoir découvert. Le 12 février 1873, ce physicien annonçait à la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres que le sélénium présente une résistance bien plus faible au passage du courant électrique lorsqu'il est exposé à la lumière que s'il se trouve dans l'obscurité.

---

(1) Les figures qui accompagnent cet article sont empruntées à la *Revue Scientifique.*

La *fig.* 1 présente la forme de transmetteur la plus usitée pour correspondre au moyen de la parole. Le tube à l'embouchure duquel on parle est obturé à son extrémité inférieure par une feuille de verre faisant l'office de miroir M et de moins de $\frac{1}{10}$ de milli-

Fig. 1.



mètre d'épaisseur (1). Sous l'influence de la parole, c'est-à-dire des vibrations correspondantes de l'air du tube, ce miroir mince se bombe ou se creuse, devient convexe ou concave, et, si un rayon de lumière parallèle provenant d'une source extérieure se réfléchit en H et vient le rencontrer obliquement, celui-ci s'épanouira ou se

(1) M. Bell s'est servi également de miroirs métalliques, qui sont plus aisés à fabriquer sous des épaisseurs aussi faibles.

concentrera ([1]). L'intensité lumineuse qu'il projettera à distance sur une surface donnée changera à chaque instant. Le récepteur de sélénium R subira donc des variations incessantes dans sa résistance, variations correspondant à celles de la pression de l'air dans le tube transmetteur : ce qui revient à dire que la parole sera transmise dans le téléphone récepteur T, placé dans le circuit de la pile P et du sélénium R.

M. Bell fait même remarquer que ce genre de transmetteur doit théoriquement être d'autant plus parfait que la distance entre les deux postes en correspondance est plus grande. Cela résulte, en effet, de ce que la divergence et la convergence des rayons s'exagèrent au fur et à mesure que la distance augmente.

Mais ce dispositif a l'inconvénient d'absorber, en pure perte, beaucoup de lumière, par le seul fait de la réflexion des rayons sur le miroir. Aussi M. Bell croit-il préférable d'employer une lentille formée de deux cercles de verre assez minces pour être flexibles et dont l'intervalle serait occupé par un liquide transparent. L'avantage théorique du transmetteur à miroir se retrouverait dans celui-ci, nous voulons dire qu'il devrait produire des effets d'autant plus accentués sur un récepteur de sélénium qu'il agirait de plus loin sur lui.

La *fig.* 2 représente l'expérience qui consiste à interrompre un rayon de lumière à l'aide d'un disque de phénakisticope tournant avec rapidité. C'est ce rayon interrompu que M. Bell a appelé, pour faciliter le langage, un rayon *vibratoire*.

Les rayons parallèles provenant de la source lumineuse, du Soleil par exemple, se réfléchissent sur le miroir M et sont concentrés à l'aide d'une lentille en un foyer où se trouve le disque perforé D (représenté en plan au bas de la figure). A leur sortie du disque, ces rayons sont reçus sur une autre lentille, qui les rend de nouveau parallèles, afin de leur permettre d'atteindre avec le moins de perte possible le poste récepteur. Dans ce dernier, une nouvelle lentille les force à converger au point O, où doit s'exercer leur influence.

([1]) Une cuve d'alun C est interposée entre l'héliostat et le miroir récepteur, afin d'empêcher ce dernier d'être détérioré par les rayons calorifiques qui accompagnent toujours les rayons lumineux.

Si l'on place en O une feuille d'ébonite mince, et qu'on y applique l'oreille, une note musicale sera perçue très distinctement. Recevons la lumière, non plus sur une feuille d'ébonite, mais sur l'orifice ouvert d'un tube quelconque, dont l'autre extrémité sera maintenue contre l'oreille (c'est l'expérience représentée dans la

Fig. 2.

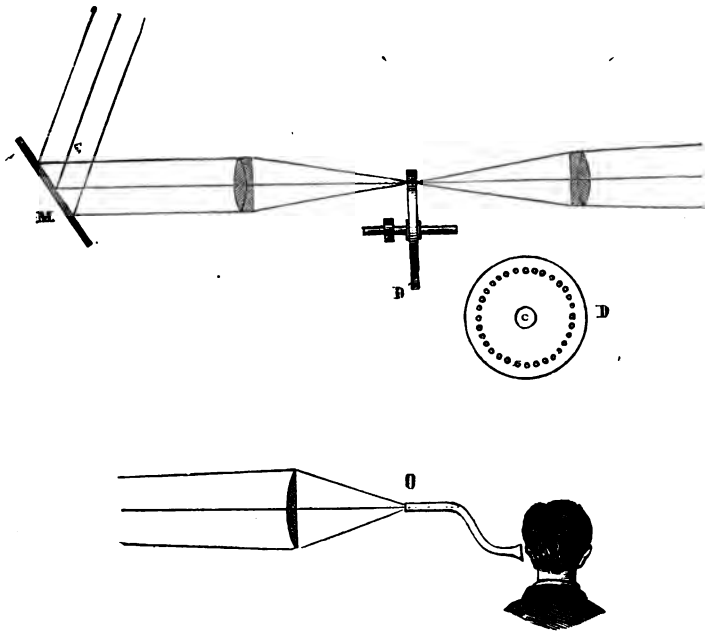


figure) : la note ne cessera pas d'être entendue. Fermons l'orifice libre du tube par une surface opaque absolument quelconque qui recevra directement la lumière : même résultat. Enfin recevons directement dans le conduit auditif le rayon lumineux vibratoire, et nous entendrons toujours la note, dont la hauteur dépend de la vitesse de rotation du disque perforé.

A vrai dire, les sons perçus dans ces expériences ne sont pas d'une très grande intensité, et il est nécessaire, pour les entendre, de se placer dans des conditions de grand silence.

Mais si, au lieu de ces tubes, de ces substances opaques, etc., on emploie du sélénium traversé par le courant d'une pile de

6 éléments Leclanché, et que l'on porte à son oreille un téléphone ordinaire placé dans le circuit, l'intensité devient relativement considérable, et il n'est plus besoin, pour réussir l'expérience, de se mettre à l'abri des bruits extérieurs. M. Bell a pu de cette façon percevoir des sons musicaux dans un récepteur placé à plus de *deux kilomètres* de l'appareil transmetteur.

Cet appareil transmetteur est certainement très simple, et la figure suffit à elle seule à l'expliquer; mais nous devons décrire l'appareil récepteur, qui a exigé, de la part de M. Bell et de son collaborateur M. Tainter, un travail assidu avant de se présenter sous une forme satisfaisante.

Quelles sont les conditions que doit remplir le système récepteur?

Elles sont au nombre de deux :

1° Le sélénium doit offrir à la lumière une surface aussi grande que possible.

2° Le sélénium doit être traversé par le courant électrique, de manière à lui offrir une résistance très faible.

Or ces deux conditions sont presque contradictoires, comme il est facile de s'en rendre compte. En effet, si l'on considère un poids donné de sélénium, celui-ci présentera une grande surface à la lumière, s'il est façonné en forme de lame excessivement mince; mais alors le courant qui le traverserait dans sa longueur rencontrerait une résistance considérable.

Au contraire, si deux rhéophores de cuivre de même surface que la lame de sélénium la comprimaient entre elles, le courant traverserait le sélénium d'une plaque de cuivre à l'autre, c'est-à-dire sous une épaisseur très faible, et par conséquent sans rencontrer une résistance sensible; mais, dans ce cas, la surface à impressionner serait réduite à son minimum, puisque les rhéophores cacheraient toute la surface du sélénium et que sa tranche seule serait exposée au jour.

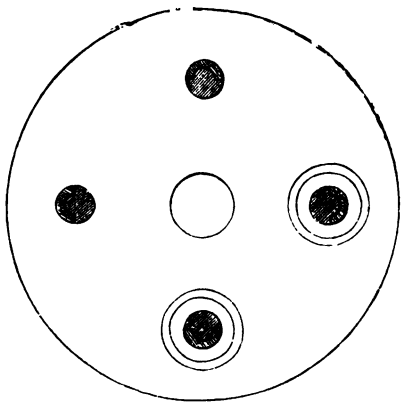
MM. Bell et Tainter sont pourtant parvenus à réaliser simultanément ces deux conditions de la manière suivante.

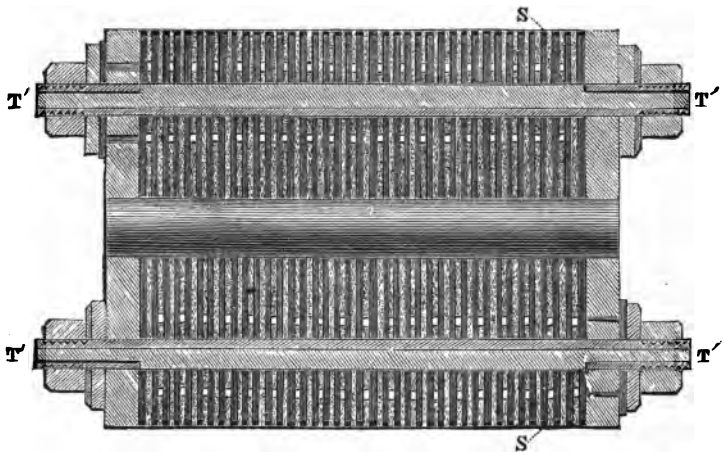
Récepteur cylindrique (*fig.* 3). — Il se compose d'une série de disques annulaires de laiton et de mica serrés les uns contre les autres. Les disques de mica sont d'un diamètre un peu plus faible que ceux de laiton, et la différence est comblée par du sélénium S (représenté en noir sur la *fig.* 3).

Le sélénium se présente donc sous la forme de petits anneaux, très peu épais, en contact direct avec les deux disques de laiton qui les limitent, suivant les génératrices du cylindre.

Les disques de laiton pairs sont tous en communication avec l'un

Fig. 3.





des rhéophores TT, et les disques impairs sont en communication avec l'autre rhéophore T'T'. De cette manière, le courant parcourt *en quantité* tous les anneaux de sélénium et ne rencontre par là qu'une résistance extrêmement faible. On voit, en outre, que la surface extérieure du sélénium est considérable, eu égard à sa masse. Ce sont précisément les conditions qu'il fallait réaliser.

Pour fabriquer un semblable système, MM. Bell et Tainter ont imaginé un procédé des plus simples. Une fois les disques préparés comme il a été dit ci-dessus, il suffit de maintenir le cylindre que constitue cette pile de disques de mica et de laiton à la température où le sélénium commence à se fondre. On frotte alors sur sa surface un crayon de ce métalloïde, tel qu'on le trouve dans le commerce, et, par cette opération, le sélénium se loge dans les cavités annulaires provenant de la différence des diamètres du laiton et du mica.

Il suffit ensuite d'élever graduellement la température jusqu'à ce que l'aspect métallique du sélénium disparaisse et fasse place à une couleur mate d'un gris ardoise. On éteint la lampe aussitôt, on laisse refroidir, et le récepteur est prêt à fonctionner.

La résistance totale est équivalente à 1200 ohms dans l'obscurité et à 600 ohms à la lumière du jour.

La sensibilité d'un pareil récepteur est tellement grande, que, dans les expériences que nous avons faites ces jours derniers ([1]), nous avons nettement perçu une note musicale (à l'aide du phénakisticope et du téléphone) lorsque la lumière vibratoire éclairait les anneaux de sélénium après s'être réfléchie sur une substance claire quelconque, telle qu'une feuille de papier, un mouchoir, etc. La lumière d'une bougie suffisait encore à impressionner le sélénium.

Le rapport de la surface de sélénium à la surface totale du cylindre est égal à 0,60.

Le photophone prouve une fois de plus que toute cause capable de modifier les propriétés électriques des corps peut servir à réaliser un téléphone articulant.

Ces modifications peuvent viser la force électromotrice; alors aucune pile, aucune énergie extérieure ne sera mise à contribution : c'est le cas du téléphone de Bell et le cas du téléphone à mercure.

Elles peuvent viser la capacité des corps, et, dans ce cas, aucune dépense d'énergie extérieure ne serait nécessaire. Il n'existe pas d'ailleurs de téléphone fondé sur les variations de capacité, bien

---

([1]) Nous employions seulement le courant de 6 éléments Leclanché.

que des essais aient été tentés dans ce sens par plusieurs physiciens.

Elles peuvent encore viser la résistance des corps; alors il est indispensable d'introduire un courant électrique, c'est-à-dire une énergie extérieure, dans le système : c'est le cas du microphone, du téléphone d'Edison, et c'est le cas aussi du photophone sujet de cette étude.

SÉANCE DU 5 NOVEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet est lu et adopté.

M. le Président résume une Note de M. Schwedoff sur l'origine de la grêle.

M. Schwedoff admet que la grêle n'est pas de provenance terrestre. A l'appui de cette opinion, il invoque un grand nombre de considérations, parmi lesquelles nous nous bornerons à signaler les suivantes : 1° l'abondance extraordinaire de certaines chutes de grêle et la grosseur des grêlons, hors de proportion, d'après M. Schwedoff avec la quantité d'eau que peut fournir la condensation des vapeurs atmosphériques dans les circonstances les plus favorables; 2° la température très basse observée quelquefois sur les grêlons; 3° leur forme très différente de celle des cristaux de neige; 4° la présence à l'intérieur de certains grêlons de noyaux de fer allié de nickel, dont la composition est exactement analogue à celle des météorites.

M. Dufet communique les résultats de mesures opérées sur l'angle des axes optiques de cristaux contenant des proportions variables de sulfate de zinc et de sulfate de magnésie.

M. Robin présente un héliotrope pouvant se transformer en héliostat et qui repose sur le principe de l'antiparallélogramme de Peaucellier.

M. Mascart présente, au nom de M. Duboscq, un réfractomètre interférentiel destiné aux gaz. Les franges d'interférence que l'on

observe sont les franges de Talbot; les bilames destinées à séparer les rayons et à obtenir les franges sont manœuvrées, ainsi que les autres pièces mobiles, par des vis de rappel qui rendent facile le réglage de l'instrument.

M. Joubert donne la théorie des machines électromagnétiques.

Sur les propriétés optiques des mélanges de sels isomorphes;
par M. H. Dufet.

Un cristal formé d'un mélange de deux sels isomorphes a des indices de réfraction qui varient continûment avec la composition, de telle sorte que la variation dans la valeur de l'indice est proportionnelle au nombre d'équivalents d'un des sels introduits dans le mélange. Si N est l'indice du sel mixte, n et n' les indices des sels composants, p et p' les nombres d'équivalents des deux sels, on a

$$N = \frac{pn + p'n'}{p + p'}.$$

Cette loi a été démontrée par des mesures effectuées sur des mélanges de sulfate de nickel et de magnésie, et communiquées dans la séance du 7 juin 1878.

Je l'ai vérifiée plus complètement par des mesures que je me suis efforcé de rendre aussi précises que possible, et portant non plus sur les indices, mais sur l'angle des axes optiques. J'ai étudié ainsi quelques mélanges de sulfates de zinc et de magnésie. La loi précédente permet de calculer, pour un mélange de composition connue, les trois indices principaux, et par suite l'angle des axes, soit intérieur, soit extérieur. L'angle des axes optiques, dépendant des différences entre les indices principaux, varie très rapidement avec ces indices ; il en résulte que la loi se trouve ainsi vérifiée avec un haut degré d'exactitude.

L'angle des axes mesuré directement et l'angle calculé au moyen de la composition des sels s'accordent à quelques minutes près; on ne peut guère espérer, dans des mesures d'angles des axes optiques, obtenir l'angle à plus de 2′ ou 3′ près. On peut donc

affirmer que l'écart entre le calcul et l'expérience reste compris dans les limites des erreurs expérimentales. Voici d'ailleurs le Tableau donnant, pour les sels étudiés, la composition centésimale et atomique, l'angle des axes mesuré et l'angle calculé d'après la composition :

SELS.	PROPORTION pour 100 de		ÉQUIVALENTS de		ANGLE EXTÉRIEUR des axes optiques		DIFFÉRENCE.
	$MgO,SO^3,7HO$.	$ZnO,SO^3,7HO$	$MgO,SO^3,7HO$.	$ZnO,SO^3,7HO$.	mesuré.	calculé.	
					° ′ ″	° ′ ″	′ ″
$MgO,SO^3,7HO$	100	0	100	0	78.18	″	″
Mélange 1	78,20	21,80	80,8	19,2	76.55.30	76.58	+2.30
» 2 ...	72,43	27,57	75,5	24,5	76.36	76.37	+1
» 3	38,96	61,04	42,75	57,25	74.15	74.16	+1
» 4	37,20	62,80	40,95	59,05	74. 9	74. 8.40	—0.20
» 5 . ..	26,59	73,41	29,8	70,2	73 16	73.17.20	+1.20
$ZnO,SO^3,7HO$	0	100	0	100	70.57	″	″

Les mesures d'angle des axes se rapportent à la raie D.

Le point le plus important, dans une semblable vérification, c'est d'obtenir, pour les deux sels extrêmes de la série, ici le sulfate de zinc et le sulfate de magnésie, les valeurs des trois indices principaux avec une approximation suffisante; ce sont, en effet, ces indices qui servent à calculer ceux des sels mixtes, et par suite les angles des axes optiques.

Les sels étudiés cristallisent, comme on sait, en prismes orthorhombiques, dont l'arête coïncide avec l'axe de moyenne élasticité. Le caractère optique est négatif; l'axe de plus grande élasticité, bissectrice de l'angle aigu des axes optiques, est perpendiculaire à un clivage facile, correspondant à la face g^1. Des lames de clivage permettent donc de déterminer l'angle des axes. Les prismes étaient taillés de manière que leur arête coïncidât avec l'axe de moyenne élasticité; ils donnent comme indice ordinaire l'indice moyen. Cette détermination une fois faite, le prisme est placé sur la plate-forme d'un goniomètre de Babinet, donnant les 10″, et reçoit les rayons incidents sous un angle quelconque; il donne deux images, dont on détermine la déviation et, surtout avec grand soin, la distance. La déviation ordinaire permet de calculer l'angle d'in-

cidence des rayons, et à l'aide de l'angle d'incidence et de la déviation extraordinaire on obtient l'indice extraordinaire. D'ailleurs, l'angle que le rayon intérieur fait avec un des axes d'élasticité se détermine facilement, une fois les mesures terminées, en clivant le prisme, ce qui donne une face perpendiculaire à l'axe de plus grande élasticité. On obtient ainsi l'indice extraordinaire avec la même approximation que l'indice moyen. Les différentes valeurs de l'indice extraordinaire n ainsi obtenues sont reliées aux deux indices cherchés α et γ par la relation connue

$$(1) \qquad \frac{1}{n^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\gamma^2}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\gamma^2}\right)\cos 2(r - \psi),$$

où r désigne l'angle du rayon intérieur avec la normale à une face, et ψ l'angle de cette même normale avec l'axe de plus grande élasticité.

Si l'on appelle β l'indice moyen et θ le demi-angle intérieur des axes optiques, on a, comme on le sait, l'équation

$$(2) \qquad \frac{1}{\beta^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\gamma^2}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\gamma^2}\right)\cos 2\theta.$$

Sans entrer dans les détails du calcul, il est facile de voir, en discutant l'équation (1), que le mode de calcul le plus exact consiste à combiner l'équation (2) avec l'équation (1), prise pour des valeurs de n voisines de α. C'est ainsi que j'ai opéré. Les valeurs des indices trouvées avec divers prismes ne différaient que par la cinquième décimale. Voici les valeurs moyennes :

	γ.	β.	α.
Sulfate de magnésie	1,46083	1,45529	1,43207
Sulfate de zinc.....	1,48445	1,48010	1,45683

On peut aussi donner à r des valeurs voisines de ψ, de manière à déterminer directement l'indice γ. Les valeurs de α et de γ ainsi trouvées, indépendamment de l'angle des axes, doivent le donner pour le calcul, si elles sont suffisamment exactes. Pour le sulfate de zinc, les indices donnés par quatre prismes, dont deux donnaient des valeurs de n voisines de α et deux des valeurs voisines de γ, sont

$$\gamma = 1,484405 \quad \text{et} \quad \alpha = 1,45682.$$

L'angle des axes calculé est de 45°88′ au lieu de 46° 10′.

Dans toutes ces mesures, les prismes étaient recouverts de lames de glace, à faces à peu près parallèles, qui étaient d'abord étudiées au goniomètre, de manière à permettre, sous chaque incidence, de faire des corrections convenables aux déviations observées. Je préfère employer des lames franchement prismatiques, pourvu que l'angle ne dépasse pas quelques minutes; les faces sont plus planes et les images meilleures. Ces calculs de correction ne présentent d'ailleurs aucune difficulté; ils sont longs et fastidieux, mais sont nécessaires pour obtenir l'exactitude que j'espérais atteindre.

Je crois, en définitive, avoir démontré, au moins pour les sulfates de la série magnésienne, l'existence de la loi que j'ai énoncée. Cette loi existe-t-elle d'une manière aussi précise pour d'autres sels isomorphes? Je pense, comme je l'ai établi dans ma première Note, qu'il en est ainsi toutes les fois que les sels ont le même équivalent en volume, c'est-à-dire lorsque la densité est proportionnelle à l'équivalent. C'est ce qui arrive dans de nombreuses séries de sels isomorphes, comme Kopp l'a démontré par des mesures directes.

Note sur quelques applications des systèmes articulés; par M. Paul Robin.

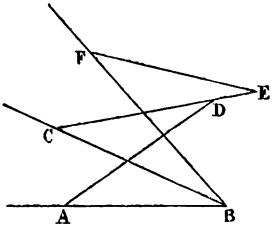
Les systèmes articulés permettent de donner à un certain nombre de problèmes géométriques des solutions utilement applicables aux appareils scientifiques : par exemple, l'isoclinostat de Kemp fournit un nombre quelconque d'angles adjacents égaux. Rappelons-en le principe.

On sait qu'un antiparallélogramme est un quadrilatère dont les côtés opposés sont égaux et dont les grands côtés se croisent. Comme pour les triangles, il est aisé de voir que deux antiparallélogrammes qui ont deux angles égaux chacun à chacun sont semblables, et inversement, d'où il découle que deux antiparallélogrammes articulés semblables resteront semblables dans toutes leurs déformations.

Soit l'antiparallélogramme ABCD (*fig.* 1). Sur le grand côté CB,

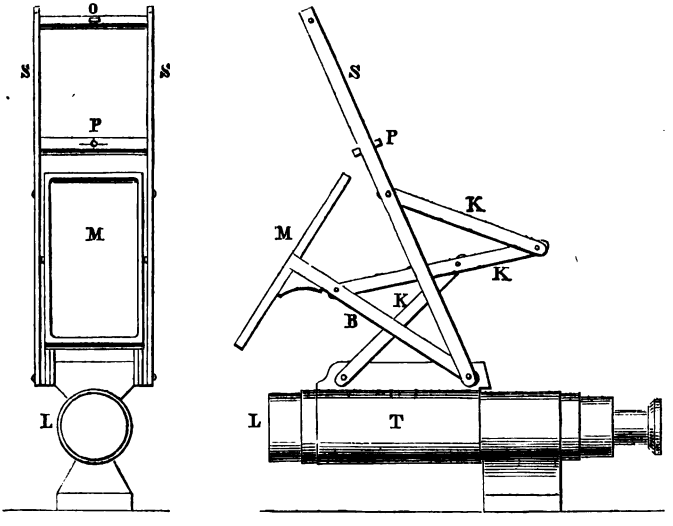
devenant un de ses petits côtés, construisons l'antiparallélogramme semblable CBFE, de même sur ce nouveau grand côté FB, et ainsi de suite. Les angles ABC, CBF, ... seront égaux dans toutes les déformations possibles de l'appareil.

Fig. 1.



L'appareil de Kemp dérive du système articulé à quatre barres de Hart, comme celui de Sylvester dérive du système à sept barres de Peaucellier. Tous deux résolvent le problème géométriquement insoluble de la division des angles.

Fig. 2.



Héliotrope. — Cela posé, voici comment j'applique le système de Kemp à la construction d'un héliotrope.

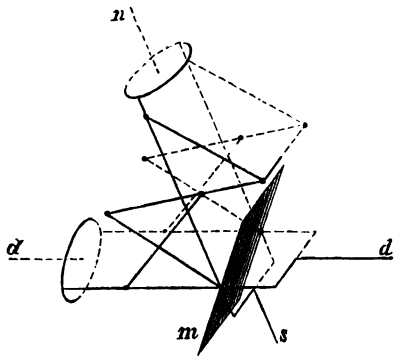
Une lunette L (*fig.* 2) est dirigée vers le point auquel on doit

envoyer le rayon solaire. Autour de cette lunette tourne à frottement un tuyau T qui porte l'héliotrope ; une baguette S, ou plutôt les deux montants d'un cadre, sont dirigés vers le Soleil ; on s'assure que cette condition est remplie quand un rayon passant par un orifice O, percé à la partie supérieure du cadre, vient illuminer un point P marqué sur une traverse placée plus bas sur ce même cadre. Un autre cadre B est maintenu constamment dans le plan bissecteur de l'angle formé par l'axe de la lunette et le cadre précédent, à l'aide des barres K de l'isoclinostat de Kemp. Perpendiculairement à ce bissecteur est fixé un miroir M, qui est par suite automatiquement placé de manière à réfléchir les rayons solaires dans la direction demandée.

La lunette reste fixée pendant toute la durée de l'expérience; l'observateur n'a qu'à maintenir le point lumineux sur la marque P.

Héliostat. — On peut faire, sur le même principe, un héliostat à régulateur, pouvant servir aux expériences ordinaires. Le diagramme ci-joint (*fig.* 3) en indique la construction. Le miroir

Fig. 3.



passe toujours par le point de rencontre des axes de rotation, de manière à éviter le léger déplacement sans inconvénient dans l'appareil précédent. Une tige *s*, prolongeant inférieurement la ligne médiane du cadre dirigé vers le soleil, est forcée par un mécanisme d'horlogerie à décrire autour de l'axe du monde le cône voulu.

Un avantage de ces appareils est de n'avoir aucune glissière, rien que des pivots; une grande précision peut, grâce à cela, s'obtenir avec beaucoup plus de facilité ; de plus, l'étendue des mouvements

possibles est complète, et l'on peut donner aux rayons réfléchis une direction quelconque, horizontale ou non. Le deuxième appareil peut à toute époque suivre le Soleil de son lever à son coucher, sans être arrêté par aucun obstacle matériel; enfin, les mouvements sont toujours d'une parfaite douceur, comme dans tous les appareils qui ont pour origine l'invention de M. Peaucellier.

Théorie des machines à courants alternatifs; par M. J. Joubert.

J'ai indiqué, dans la séance du 16 juillet dernier, les méthodes que j'applique à l'étude des machines magnéto-électriques; je vais donner maintenant les principaux résultats auxquels elles m'ont conduit.

Je rappellerai d'abord que les machines à courants alternatifs, qui toutes se rattachent plus ou moins directement à la machine de Clarke, se composent de deux organes essentiels : l'un, composé d'aimants fixes ou d'électro-aimants, détermine un champ magnétique constant, c'est le système *inducteur*; l'autre, appelé *système induit*, est formé de bobines avec ou sans noyau de fer doux; ces bobines, par suite de leur déplacement dans le champ de l'inducteur, sont le siège des courants d'induction que l'on utilise dans la machine. Quant aux électro-aimants de l'inducteur, ils sont ordinairement animés par une machine à courants continus, indépendante ou montée sur le même arbre, et qu'on appelle *machine excitatrice*.

La théorie élémentaire de ces machines est très simple : pour un déplacement quelconque du système induit par rapport à l'inducteur, la force électromotrice d'induction est proportionnelle à la variation du nombre des lignes de force, ou mieux du flux de force embrassé par le contour total du circuit induit.

Prenons comme exemple la machine de Clarke et supposons qu'une des bobines induites soit vis-à-vis du pôle A; soient S la surface totale comprise par les spires et H l'intensité moyenne du champ dans la région occupée par la bobine; le flux total de force qu'elle comprend a pour valeur SH. Quand la même bobine

sera devant le pôle B, il sera — SH, les valeurs de H en A et en B étant égales et de signes contraires. Quand la bobine passera de A en B, la variation totale du flux sera 2SH. La force électromotrice correspondant à ce déplacement aura pour expression ce même produit, et, si R est la résistance du circuit, la quantité d'électricité mise en mouvement est égale à $\frac{2SH}{R}$.

A chaque instant le courant est proportionnel à la variation du flux; il est maximum entre les deux pôles, où la variation est le plus rapide, nul en A et en B, où pendant un instant très court cette variation est nulle. Dans la seconde moitié du parcours de B en A, la même succession se reproduit, mais en sens contraire.

Si cette théorie élémentaire était complète, la loi de l'intensité à chaque instant serait la loi d'Ohm et le changement de sens du courant se ferait exactement vis-à-vis des pôles. L'expérience montre qu'il n'en est point ainsi.

Mes recherches ont porté principalement sur la machine à courants alternatifs de Siemens. J'ai dit, dans ma précédente Communication, que l'intensité du champ et celle du courant à chaque instant suivent exactement, dans cette machine, la loi des sinus, mais que les deux sinusoïdes présentent l'une par rapport à l'autre une différence de phase variable avec la vitesse de rotation et la résistance du circuit.

La question la plus importante au point de vue pratique est la loi de variation de l'intensité moyenne avec la résistance. Cette intensité moyenne est la racine carrée de la moyenne des carrés des intensités à chaque instant. C'est elle que donne l'électromètre, employé comme il a été dit précédemment.

Des expériences nombreuses, faites avec des résistances variant de quelques ohms jusqu'à 100 et avec des vitesses allant de 100 à 1200 tours par minute, m'ont montré que cette intensité moyenne satisfait exactement à la relation

$$(1) \qquad I = \frac{e}{(R^2 + a^2)^{\frac{1}{2}}},$$

dans laquelle R est la résistance totale du circuit, a une constante qui ne dépend que de la vitesse et lui est proportionnelle, enfin e

une autre constante égale au quotient par $\sqrt{2}$ de la force électromotrice maxima de la machine en circuit ouvert [1].

La simplicité de ce résultat et la concordance parfaite de la formule avec les expériences m'ont fait penser que j'étais en présence, non pas seulement d'une formule empirique, mais de l'expression même de la loi du phénomène. J'ai donc cherché à retrouver cette formule par la théorie.

Supposons la machine à l'état de mouvement uniforme. Soient, à un instant donné, E la valeur de la force électromotrice due au champ primitif et i l'intensité du courant. Le travail électrodynamique pendant le temps dt est égal à $Eidt$, et ce travail, si le courant ne produit dans le circuit aucun travail mécanique, chimique ou lumineux, doit se retrouver tout entier dans le travail calorifique du courant i^2Rdt et dans le travail des forces électromotrices inverses qui naissent des réactions des diverses parties de la machine. L'expérience montre que les réactions sur les électro-aimants inducteurs sont négligeables. Les réactions se réduisent donc à l'induction du circuit induit sur lui-même. Si l'on représente par U le flux de force émanant du système induit quand il est traversé par l'unité de courant, c'est-à-dire le coefficient de *self-induction*, et par di la variation de l'intensité pendant le temps dt, pendant le même temps la variation du flux de force, et, par suite, la force électromotrice, sera Udi, et le travail correspondant aura pour valeur $Uidi$. On aura donc, pour l'équation qui exprime que l'énergie s'est conservée,

$$Eidt = i^2Rdt + Ui\frac{di}{dt}dt.$$

ou, en divisant par i et par dt,

$$E = iR + U\frac{di}{dt}, \tag{2}$$

équation dans laquelle il faut prendre $E = E_0 \sin 2\pi \frac{t}{T}$, T étant la durée de la période.

---

[1] Grâce à l'interrupteur décrit précédemment, et qui me permet de saisir le phénomène à étudier à un instant quelconque de sa phase, j'ai pu mesurer la force électromotrice de la machine en circuit ouvert. Il suffit de mettre une des extrémités du circuit en communication avec le sol et l'autre, par l'intermédiaire de l'interrupteur, en communication avec le plateau du *portable electrometer* de Thomson.

En posant

$$(3) \qquad \operatorname{tang} 2\pi\varphi = \frac{2\pi}{T}\frac{U}{R};$$

l'intégrale de l'équation (2) peut s'écrire

$$i = \frac{E_0}{\left(R^2 + \frac{4\pi^2 U^2}{T^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right) = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right),$$

la constante étant déterminée par la condition que $t = \varphi T$ quand l'intensité est nulle. L'intensité du courant à chaque instant est donc représentée par une sinusoïde dont A est l'amplitude et φ la phase.

On déduit de là pour l'intensité moyenne

$$(4) \qquad I = \frac{\frac{E_0}{\sqrt{2}}}{\left(R^2 + \frac{4\pi^2 U^2}{T^2}\right)^{\frac{1}{2}}},$$

formule qui coïncide avec celle que m'avait donnée l'expérience.

L'expérience montre que E_0 varie proportionnellement à l'intensité du champ et à la vitesse. Si l'on appelle e_0 la valeur maximum de la force électromotrice quand, pour une intensité donnée du champ, la vitesse est de 1 tour par seconde, et qu'il y ait n périodes par tour,

$$E_0 = \frac{e_0}{nT},$$

et la formule de l'intensité devient

$$(4) \qquad I = \frac{e_0}{n\sqrt{2}(R^2T^2 + 4\pi^2 U^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

La discussion de cette formule va nous conduire à quelques remarques intéressantes.

Le travail électrodynamique total de la machine a pour expression

$$W = RI^2 = \frac{R e_0^2}{2n^2(R^2T^2 + 4\pi^2 U^2)}.$$

Cette expression tend vers zéro quand la résistance augmente indéfiniment et devient nulle quand le circuit est ouvert ; l'expérience montre en effet que dans ce cas on n'a d'autre travail à vaincre que celui des résistances passives ([1]). Mais, contrairement à ce qui se passe avec une pile, le maximum ne correspond pas à une résistance extérieure nulle. Le travail croît d'abord quand la résistance augmente et passe par un maximum qui correspond à l'équation

$$R = a = \frac{2\pi U}{T}.$$

L'équation de la phase donne alors

$$\operatorname{tang} 2\pi\varphi = 1 \quad \text{ou} \quad \varphi_m = \frac{1}{8}.$$

Le retard est égal au quart de l'intervalle qui sépare deux pôles consécutifs de signes contraires. Pour $R = \infty$, ce retard est nul; quand R ou T décroît indéfiniment, φ tend vers la valeur $\frac{1}{4}$; autrement dit, le retard tend à devenir égal à la moitié de l'intervalle qui sépare les deux pôles consécutifs.

L'équation (4) montre que l'intensité ne croît pas indéfiniment avec la vitesse, mais qu'elle tend vers une valeur limite

$$I_0 = \frac{e_0}{n\sqrt{2}.2\pi U};$$

celle qui correspond au travail maximum est

$$I_m = \frac{e_0}{4n\pi U};$$

par suite,

$$\frac{I_m}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

On voit que, si l'on fait $RT = \text{const.}$, I est constant ; par suite, on peut toujours, quelle que soit la résistance du circuit, avec une

---

([1]) Il n'en est pas de même si le système mobile dans le champ magnétique renferme des pièces métalliques, et en particulier des masses de fer doux.

vitesse convenable, obtenir une intensité donnée inférieure au maximum. En particulier, on peut toujours obtenir l'intensité qui correspond au maximum de travail.

L'intensité du champ et la vitesse sont deux éléments pour ainsi dire extérieurs à la machine ; il en est trois autres qui tiennent à sa constitution même : la force électromotrice, la résistance intérieure et le coefficient de *self-induction*.

J'ai déjà dit que l'expérience montrait que la force électromotrice est rigoureusement proportionnelle à la vitesse et à l'intensité du champ ; j'ajoute que dans cette classe de machines la force électromotrice est très grande : c'est là un de leurs caractères distinctifs. Par exemple, la machine Siemens dont je me suis servi, marchant à la vitesse normale de 720 tours et avec une intensité de 20 webers pour le courant inducteur, a une force électromotrice qui atteint 500 volts au moment du maximum et dont la valeur moyenne est de 350 volts. Avec une vitesse de 1500 tours et un courant excitateur de 30 webers, elle a une force électromotrice moyenne de 1000 volts, la valeur du maximum étant de 1500.

Ce fait explique comment les machines à courants alternatifs sont particulièrement propres à la division de la lumière électrique.

La plupart des machines à courants continus n'ont qu'une force électromotrice beaucoup plus faible. Les machines Gramme ordinaires (type d'atelier) ont une force électromotrice d'environ 80^{volts}.

Relativement aux deux autres constantes, considérons deux cas extrêmes, ceux où chacun des termes du dénominateur est négligeable devant l'autre. Si le terme $2\pi U$ est négligeable devant RT, la machine suit à très peu près la loi d'Ohm ; elle se comporte comme une pile dont on pourrait à volonté faire varier la force électromotrice sans changer en même temps la résistance intérieure. C'est l'état vers lequel tend la machine quand la résistance extérieure augmente indéfiniment.

Supposons au contraire le terme RT négligeable devant $2\pi U$; dans certaines limites, l'intensité sera peu influencée par les variations de R. Ce cas est celui dont se rapprochent les machines dans les conditions où elles fonctionnent ordinairement. La vitesse est toujours très grande et la résistance extérieure médiocre. Dans ces

conditions, la résistance intérieure de la machine, en tant que résistance, n'a qu'une influence tout à fait secondaire.

Les deux constantes e_0 et U sont les véritables *caractéristiques* de cette classe de machines. En général, on ne peut modifier l'une sans modifier l'autre en même temps; mais le rapport de ces deux quantités peut varier d'une manière pour ainsi dire arbitraire. Quand le terme $2\pi U$ est prépondérant dans le dénominateur, les variations de U ont une influence énorme sur l'intensité.

La formule permet d'ailleurs, dans chaque cas particulier, de répondre aux diverses questions que soulève la pratique, qu'il s'agisse soit du groupement des bobines, soit de la longueur ou du diamètre du fil qui doit garnir chacune d'elles.

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Faverger, ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse);
Rodde (Léon), ingénieur, à Rio-Janeiro (Brésil).

Le Président communique à la Société les nombreux témoignages de regret qu'il a reçus de toutes parts à l'occasion de la perte douloureuse que la Science et la Société de Physique ont faite en la personne de M. d'Almeida.

M. Bouty est chargé provisoirement de remplir les fonctions de Secrétaire général.

M. Mercadier présente ses expériences récentes sur les faits de photophonie découverts par M. Bell.

A propos de la Communication de M. Mercadier, M. Cros rappelle la théorie qu'il a proposée et qui lui a permis de prédire long-

temps d'avance tous ces phénomènes. M. Cros pensait que, si les corps réfringents agissent sur la lumière, inversement et par réaction la lumière doit agir sur les corps, en tendant à diminuer leur réfringence et par suite leur densité.

M. Cornu dit que quelques physiciens ont pensé que les atomes pondérables participaient aux vibrations de l'éther; de là à une action mécanique de la lumière il n'y a qu'un pas. Mais les vibrations lumineuses sont trop rapides pour produire un son perceptible, et la difficulté existe toujours pour expliquer la transformation des vibrations lumineuses en vibrations sonores.

M. Cros dit que, dans sa pensée, le son produit doit dépendre du nombre des éclipses lumineuses et non de la période des vibrations lumineuses elles-mêmes.

M. Lippmann fait observer que, lorsque la lame employée par M. Mercadier est transparente, la paroi du tube, qui est en bois, est soumise à un éclairement intermittent, et que par suite cette paroi elle-même devient aussi sonore, ainsi que l'a constaté M. Bell.

M. Bertin expose et projette devant la Société la première série de ses expériences sur le radiomètre électrique. Lorsque la pression de l'air dans le radiomètre est de 130^{mm}, la rotation commence, mais elle est incertaine; à 90° elle est décidée, mais toujours déterminée par un défaut de symétrie de l'appareil. A 30^{mm}, elle n'a plus lieu, mais on la produit avec l'étincelle en chauffant l'un des tubes: elle a lieu comme si le vent soufflait du pôle froid au pôle chaud. Cette expérience est projetée avec une pression de 27^{mm}. A 15^{mm}, la rotation électrique a lieu seule, et elle est positive (le vent paraît venir du pôle +); l'expérience est projetée sous la pression de $13^{mm},5$. A 10^{mm}, la rotation est nulle. De 5^{mm} à 2^{mm}, elle est négative (l'expérience est projetée; pression, 3^{mm}). De 2^{mm} à $0^{mm},2$, rotation nulle. A $0^{mm},1$ et au-dessous, la rotation est toujours négative; le tube négatif est fluorescent; l'expérience est projetée, la pression étant de $0^{mm},005$.

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Alexandre (Henri), élève à l'école Centrale;
Banet-Rivet, professeur de Physique au Lycée de Nice;
Delaurier, ingénieur, à Paris;
Geraldi (Franck), ingénieur, à Paris;
Hudelo, répétiteur à l'École Centrale;
Leblanc, ancien élève de l'École Polytechnique;
Mestre, ancien élève de l'École Polytechnique;
Noaillon, ingénieur civil à Boulogne-sur-Seine.

Le Président donne lecture de la Lettre suivante, adressée par la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg :

« Saint-Pétersbourg, 16/28 novembre 1880.

« *A la Société française de Physique.*

» La Section de Physique de la Société physico-chimique russe, ayant reçu pendant la séance du 4-16 novembre la triste nouvelle de la mort de M. Ch. d'Almeida, s'empresse de présenter à la Société française de Physique ses sincères condoléances. L'activité scientifique de M. d'Almeida a toujours été hautement appréciée en Russie; son *Journal de Physique* y jouissait d'une réputation bien méritée, et l'autorité de son éminent rédacteur était entièrement reconnue par les physiciens russes. La Société physico-chimique russe lui est tout particulièrement reconnaissante, car c'est grâce à sa bienveillante intervention que les travaux scientifiques des membres de cette Société parvenaient à la connaissance du public français.

» *Pour le Président,*
» A. Gadolin.

» *Le Secrétaire,*
» N. Heséhus. »

M. Pellat communique les résultats des recherches qu'il a faites sur les forces électromotrices de contact des métaux.

M. Mercadier expose la suite de ses dernières recherches relatives à la radiophonie.

Recherches sur les différences de potentiel de deux métaux au contact; résultats; par M. H. Pellat.

La méthode que j'ai imaginée pour faire l'étude de l'électricité de contact des métaux a été exposée précédemment (*Journal de Physique,* t. IX, p. 145).

J'ai insisté déjà sur la nature de la quantité mesurée par toutes les méthodes électroscopiques et par la mienne en particulier: c'est *la différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent les deux métaux au contact et en équilibre.* Cette quantité, parfaitement définie, est une constante pour deux corps conducteurs dans un même milieu isolant. Nous la désignerons, pour abréger, par *différence de potentiel apparente* des deux corps.

Je vais indiquer maintenant les principaux résultats de cette étude.

I.

La différence de potentiel apparente de deux métaux dépend essentiellement de la nature de leur couche superficielle et varie, dans des proportions parfois considérables, avec les changements chimiques ou simplement physiques de la surface.

Pour montrer l'influence d'un changement, en apparence insignifiant, dans l'état chimique, je citerai l'expérience suivante. Un disque de cuivre fut nettoyé avec le plus grand soin (tripoli, lavages à l'alcool absolu); sa différence de potentiel apparente avec l'or se trouva égale à $0^{l},137$ [1]. Ce plateau, placé un instant dans une atmosphère d'acide sulfhydrique, fut retiré avant que la couche de sulfure formée eût atteint une épaisseur suffisante pour changer

---

[1] En prenant comme unité de différence de potentiel la force électromotrice de 1 élément Latimer-Clark.

d'une façon appréciable la couleur du cuivre. Le plateau fut ensuite lavé à l'alcool, comme précédemment, et l'on s'assura que l'atmosphère d'acide sulfhydrique qu'il avait pu entraîner avec lui avait disparu. La différence de potentiel apparente avec l'or était devenue $0^{l},201$, nombre bien supérieur au précédent. Le plateau ayant été remis dans l'hydrogène sulfuré jusqu'à ce que sa surface eût pris une teinte bronzée, et nettoyé comme ci-dessus, la différence de potentiel avec l'or resta la même ($0^{l},200$). Dans une autre expérience, la sulfuration fut poussée jusqu'à la couleur pourpre et même bleu foncé : les nombres furent sensiblement les mêmes. Ainsi une couche de sulfure invisible, bien inférieure à une longueur d'onde en épaisseur, produit le même effet qu'une couche beaucoup plus épaisse et masque déjà complètement les propriétés du cuivre.

Des changements purement physiques de l'état de la surface produisent des effets analogues. Montrons-le par un exemple. Un disque de zinc est nettoyé au papier émeri très fin (n° 0 du commerce), puis lavé à l'alcool avec beaucoup de soin. Sa différence de potentiel apparente avec l'or, mesurée immédiatement après, est trouvée égale à $0^{l},698$ (zinc positif); quelque temps après les nombres ont baissé, et ils diminuent de plus en plus avec le temps : au bout de quatorze jours, la mesure donne $0^{l},523$. Quoique le zinc paraisse aussi net qu'au moment où il vient d'être nettoyé, il peut être oxydé d'une façon invisible. Je le nettoie alors au tripoli très fin et je le lave à l'alcool de façon à rendre sa surface parfaitement métallique : la mesure donne $0^{l},607$. Les nombres ont remonté, mais sont bien loin d'égaler ceux qui suivent le polissage à l'émeri ; ils diminuent du reste avec le temps, comme ci-dessus. Le traitement mécaniquement différent produit un état différent de la surface. Pour mieux établir ce point, je polis de nouveau le zinc avec le papier émeri n° 0 en appuyant très fortement ; je lave à l'alcool, et la différence de potentiel apparente avec l'or devient égale à $0^{l},738$: valeur considérable ! Les nombres baissent avec le temps, et le lendemain je trouve $0^{l},690$. A ce moment je nettoie la surface au tripoli et la lave à l'alcool. Si les différences observées tiennent à la nature chimique de la substance qui sert au nettoyage, je dois retrouver maintenant un nombre voisin de $0^{l},607$ (nombre obtenu précédemment après le nettoyage au tripoli). Si

les variations tiennent au contraire à une sorte d'écrouissage superficiel dû au traitement mécanique, je dois trouver un nombre voisin de $0^{l},690$ et plutôt plus fort : c'est ce qui a lieu en effet, et je trouve le nombre $0^{l},693$.

L'expérience précédente n'est pas une expérience isolée ; j'en ai fait un très grand nombre à ce sujet, et j'ai reconnu que *tous les métaux* deviennent *plus positifs* quand on écrouit superficiellement la surface ; cet écrouissage diminue avec le temps et le métal se montre moins positif. Le retour de la surface à l'état primitif est rapide (quelques minutes) si l'écrouissage a été tout à fait superficiel, tel que celui qui est produit par le frottement d'un linge ou d'un morceau de papier à filtre ; il est plus lent (plusieurs jours) si l'écrouissage a été plus profond, tel que celui dû au frottement de l'émeri. Du reste, les divers métaux éprouvent des modifications plus ou moins accentuées. Le zinc est un des plus sensibles, le cuivre l'est moins, le plomb encore moins, mais tous les métaux étudiés obéissent à la loi que nous venons d'indiquer.

On ne peut donc se borner à déterminer un seul nombre pour le contact de deux métaux ; il faut absolument avoir égard à l'état physique des surfaces, qui peut faire varier les mesures de quantités allant parfois jusqu'au quart de la valeur moyenne.

L'état de poli ou de dépoli des surfaces semble n'avoir aucune influence sur les nombres.

II.

J'ai cherché si la nature ou la pression d'un gaz inerte entourant les métaux influençait leur différence de potentiel apparente [1]. A cet effet, deux plateaux métalliques, l'un en zinc, l'autre

---

[1] Ces recherches ont été exécutées en novembre et décembre 1879 et janvier 1880, et présentées succinctement à l'Académie des Sciences dans sa séance du 26 avril 1880. Jusqu'alors aucune expérience de ce genre n'avait été faite, car, si quelques auteurs ont pensé à employer une atmosphère artificielle, les uns, comme Pfaff ou M. Exner, avaient verni ou recouvert de paraffine les faces en regard des métaux, qui, par là, étaient soustraites à l'action du gaz ; d'autres, comme M. Brown, ont employé l'acide sulfhydrique ou l'acide chlorhydrique qui, en altérant chimiquement le métal (zinc, cuivre ou fer), forme une couche de substance étrangère à sa surface ; les expériences ne sont plus comparables à celles qui sont faites dans l'air.

en cuivre, ont été disposés dans un appareil spécial pouvant être placé sous une cloche maintenant autour d'eux une atmosphère artificielle. L'écartement des plateaux, nécessaire pour la mesure, était produit par le jeu d'un électro-aimant.

Les résultats obtenus ont été les suivants : *Toutes les fois qu'on raréfie le gaz, la différence de potentiel apparente augmente, pour reprendre la même valeur quand la pression redevient la même.* Ces variations, quoique très nettes, sont extrêmement faibles et ne dépassent jamais $\frac{1}{25}$ de la valeur totale (en valeur absolue n'atteignent pas $0^{l},02$). Comme, dans mes expériences, l'erreur maximum possible ne dépasse pas $0^{l},002$ et dans quelques expériences plus soignées s'est abaissée à $0^{l},0005$, il ne peut y avoir aucun doute sur ces variations. Celles-ci se sont montrées un peu plus grandes avec l'oxygène qu'avec l'air ou l'azote ; l'acide carbonique donne au contraire des variations d'amplitude un peu plus faible, et l'hydrogène moins encore.

J'ai profité de ce que les variations avec l'oxygène sont un peu plus grandes qu'avec les autres gaz pour tracer la courbe qui les représente en fonction de la pression. Trois séries d'expériences ont été faites dans ce but (¹) et ont donné des résultats concordants. Voici la courbe fournie par la deuxième série et obtenue à l'aide de huit déterminations : la différence de potentiel apparente moyenne entre le cuivre et le zinc étant dans cette expérience de $0^{volt},76$, la variation extrême n'a atteint que $0^{volt},0285$.

La substitution d'un gaz (²) à un autre ne change pas sensiblement la valeur de la différence de potentiel apparente quand ces gaz sont sous faibles pressions (20^{mm} à 30^{mm} de mercure).

Comme les variations provenant des changements dans la force élastique des gaz n'ont pas la même amplitude pour tous, sous la

---

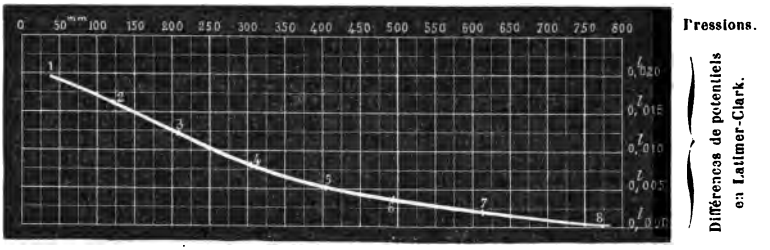
(¹) Dans la première et la troisième série, on partait de la pression atmosphérique et on raréfiait de plus en plus le gaz; dans la deuxième, on est parti de la pression la plus faible pour arriver à la pression atmosphérique. Dans les deux dernières, la précision des mesures atteignait $0^{l},0005$.

(²) Tous ces gaz avaient été préparés à l'état de pureté et surtout parfaitement débarrassés des acides qui auraient pu attaquer les surfaces métalliques. Si un accident de ce genre s'était produit, les nombres auraient été modifiés d'une façon permanente et non temporaire. L'air sec et l'air humide ont donné les mêmes résultats. Les autres gaz ont été employés secs.

pression atmosphérique l'oxygène donne des nombres un peu plus faibles que l'air ou l'azote et ceux-ci que l'acide carbonique; quant à l'hydrogène, déjà sous la pression atmosphérique il donne sensiblement le même nombre que l'air raréfié (20^{mm} à 30^{mm} de mercure), et, par conséquent, l'hydrogène raréfié donne des nombres un peu plus forts que les autres gaz dans le même état. Mais il est bien probable que, si le vide était poussé plus loin, tous les gaz, l'hydrogène compris, se comporteraient de même.

Un fait important a été mis en évidence par toutes ces expériences : la variation de la valeur de la différence de potentiel apparente est toujours *en retard* sur la variation de pression ou sur le changement de nature du gaz. Si l'on fait une observation im-

Fig. 1.



médiatement après le changement de pression et qu'on la fasse suivre de plusieurs autres de minute en minute, on voit que les nombres continuent à varier dans le même sens pendant quelques instants, et la variation finale peut être le double de la variation initiale. Cela montre que la différence de potentiel apparente n'est pas une fonction directe de la pression ou de la nature du gaz isolant, mais bien des changements qui en résultent dans l'état des surfaces métalliques (condensation des gaz); c'est donc par suite d'une action secondaire que les nombres sont modifiés.

III.

J'ai voulu vérifier si deux métaux réunis par un liquide ont leur couche électrique au même potentiel [1]. Cela revient à voir si la

[1] C'est ce qu'admettait Volta, sans en donner de preuves du reste. Une élégante

force électromotrice d'un élément de pile formé par deux métaux A et B et un liquide L (A et B étant les métaux qui constituent la surface des lames baignées par le liquide) est la même que la différence de potentiel apparente des deux métaux A et B dans l'air.

Mes mesures me donnaient cette dernière quantité; il restait donc à déterminer la force électromotrice d'un élément de pile. Mais il est *indispensable* de mettre en contact avec le liquide les faces mêmes des métaux dont on a mesuré la différence de potentiel apparente, puisque cette quantité varie dans des proportions si notables suivant l'état physique des surfaces. Pour cela, j'interposais une goutte de liquide entre les deux plateaux (¹) qui venaient de servir à la mesure de cette dernière quantité, et je prenais la force électromotrice de la pile ainsi constituée. La mesure s'effectuait par la méthode indiquée précédemment (*loc. cit.*, t. IX, p. 145), qui ne risque pas de polariser l'élément et qui permet d'effectuer des mesures de quart de minute en quart de minute avec une précision supérieure à $0^{l},001$.

Ces expériences présentent une difficulté : la force électromotrice de la pile ne reste pas constante et varie avec le temps, parfois avec une rapidité extrême. Il est clair que ces variations sont dues à l'altération des surfaces métalliques en contact avec le liquide,

---

démonstration de sir W. Thomson (Jenkin, *Electr. and magn.*, Chap. II, § 22) a prouvé qu'il en était ainsi dans le cas du zinc, du cuivre et de l'eau, mais avec peu de précision. Une expérience beaucoup plus précise de M. Clifton (*Proceed. of the roy. Soc.*, t. XXVI, p. 299) a conduit au même résultat. Dans cette expérience, deux plateaux, l'un de zinc, l'autre de cuivre, communiquent respectivement avec des lames de zinc et de cuivre trempant dans un liquide. Ces plateaux forment un condensateur à lame d'air. On constate qu'il n'est pas chargé, ce qui montre que les couches électriques qui recouvrent le cuivre et le zinc dans l'air sont au même potentiel. Si au contraire on réunit métalliquement les deux plateaux, le condensateur est fortement chargé. Je reprocherai à l'expérience de M. Clifton le défaut d'identité entre les surfaces métalliques plongeant dans le liquide et celles qui constituent les faces en regard du condensateur à lame d'air; même si, par impossible, l'identité était réalisée au moment de l'immersion, elle cesserait de l'être peu de temps après, comme le prouve ce qui suit. L'expérience faite ainsi doit présenter des irrégularités si la méthode de mesure est sensible.

(¹) Cette goutte de liquide s'aplatissait entre les deux plateaux, distants de $0^{mm},1$ à $0^{mm},2$, et formait une large lame de liquide très mince. Des liquides très résistants, comme l'alcool absolu, donnent dans ces conditions des piles dont la force électromotrice se mesure (à l'aide d'un électromètre) aussi facilement que celle des piles ordinaires.

ou peut-être à l'altération du liquide lui-même. Il faut dès lors comparer la différence de potentiel apparente des métaux dans l'air à la force électromotrice de la pile au moment même où l'on vient de la former, avant que les surfaces métalliques se soient altérées d'une façon sensible; mais, comme il s'écoule toujours au moins dix à quinze secondes entre la formation de la pile et la mesure, et que dans ce temps très court la variation est déjà notable, il convient de faire des observations de quinze en quinze secondes pour tracer la courbe des variations de force électromotrice avec le temps; en la prolongeant jusqu'au temps zéro, par *extrapolation* on a, avec une erreur qui dans certains cas est très faible, la valeur de la force électromotrice de la pile avant toute altération des métaux. J'ai employé comme liquide l'alcool absolu [1], car avec ce liquide les variations de force électromotrice sont moins rapides qu'avec les liquides aqueux. Les métaux étudiés ont été l'or, l'argent, le plomb, le zinc, le laiton, le cuivre.

La loi suivante est ressortie nettement de ces expériences :

La différence de potentiel apparente des métaux a la même valeur que la force électromotrice d'un élément de pile formé par l'alcool et ces métaux eux-mêmes (non encore altérés).

Le zinc a été employé avec sa surface fortement ou faiblement écrouie : dans le premier cas, la différence de potentiel apparente avec l'or est voisine de $0^{l},70$; dans le second, de $0^{l},60$. Dans chacun des cas, la loi ci-dessus s'est vérifiée.

Cette loi permet de déterminer la différence de potentiel apparent de métaux rares qu'on ne peut se procurer qu'en lames ou en fils, et non en plateaux.

Il est probable qu'elle subsiste pour des liquides autres que l'alcool; mais l'eau et surtout les dissolutions acides et salines altèrent tellement vite les surfaces de la plupart des métaux, que, quelle que soit la rapidité des mesures, il y a une grande incertitude sur la valeur de la force électromotrice de la pile au moment où elle vient d'être formée. Quelques expériences faites avec l'eau distillée, le laiton et le zinc ont pourtant nettement confirmé la loi.

---

[1] *Voir* la note précédente.

IV.

La différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact (différence de potentiel apparente) peut évidemment s'exprimer par la somme des trois termes

$$(1) \qquad I|M + M|M' + M'|I,$$

dans laquelle $M|M'$ représente la différence de potentiel *vraie* des deux métaux en contact, et $I|M$ et $I|M'(= -M'|I)$ celles qui existent entre chacun des métaux et la couche électrique qui le recouvre.

La force électromotrice d'un élément de pile peut aussi se représenter par une somme de trois termes

$$(2) \qquad L|M + M|M' + M'|L,$$

M et M′ représentant les métaux qui forment la surface des lames baignées par le liquide L, et $L|M$ et $L|M'$ étant les différences de potentiel entre le liquide et les métaux.

Or l'expérience prouve que, pourvu que M et M′ soient les mêmes dans les deux expressions (1) et (2), celles-ci ont la même valeur, quels que soient du reste I ou L; leur valeur change au contraire du tout au tout avec M ou M′. N'est-il pas bien probable, dès lors, que la valeur constante de toutes ces expressions représente précisément celle du seul terme $M|M'$ qui leur soit commun, différence de potentiel *vraie* des deux métaux en contact? Ce n'est certainement pas là une démonstration rigoureuse; mais je crois pourtant qu'on doit regarder cette dernière quantité comme donnée, avec une grande probabilité, soit par les différences de potentiel apparentes fournies par les mesures électroscopiques, soit par la mesure de la force électromotrice d'un élément de pile à un liquide avant toute altération des métaux.

Sur la radiophonie. Note de M. E. Mercadier.

J'appelle *radiophonie* le phénomène découvert récemment par M. G. Bell, et dans lequel une radiation (telle que celle qui constitue un rayon solaire), rendue intermittente suivant une période déterminée, produit, en tombant sur des corps taillés en lames, un son de même période.

En vue d'une application possible de ce phénomène à la télégraphie optique, j'ai dû l'étudier de près, et j'ai obtenu des résultats dont voici les principaux.

I. *La radiophonie ne paraît pas être un effet produit par la masse de la lame réceptrice vibrant transversalement dans son ensemble, comme une plaque vibrante ordinaire.* — En effet, une lame quelconque (dans les conditions où se produit le phénomène) : 1° reproduit *également bien* tous les sons successifs, depuis les plus graves possibles jusqu'à des sons aigus qui, dans mes expériences, sont allés jusqu'à 600 à 700 vibrations doubles par seconde, et cela *sans solution de continuité;* 2° reproduit *également bien* des *accords* dans tous les tons possibles, variant si l'on veut *d'une manière continue,* en faisant varier d'une manière continue la vitesse de l'appareil qui produit les intermittences. Cet appareil est, à cet effet, composé d'une roue en verre à la surface de laquelle est collé un disque de papier portant quatre séries d'ouvertures au nombre de 80, 60, 50, 40 : cela permet, en faisant passer le rayon lumineux dans les trous d'une série et soulevant le support de la roue elle-même, de produire les sons *successifs* d'un accord parfait, et, en laissant le support de la roue immobile et concentrant à l'aide d'une lentille cylindrique la lumière sur les quatre séries d'ouvertures à la fois, de produire des *accords* parfaits plaqués.

Or aucune plaque rigide vibrante connue n'est susceptible de produire de tels effets.

3° Les sons produits ne changent d'ailleurs ni de timbre ni de hauteur avec l'épaisseur et la largeur des lames des récepteurs. Ils ne changent même pas d'intensité d'une manière sensible avec la

largeur, à surface égale éclairée, et même avec l'épaisseur, dans les lames transparentes, comme le verre et le mica, entre des limites éloignées qui, pour le verre en particulier, s'étendent de $0^{mm},5$ à $0^{m},02$ ou $0^{m},03$ d'épaisseur. Cela m'a permis d'employer des lames réceptrices de 1^{cq}, en particulier des lames de tourmaline de cette dimension (¹).

4° Une plaque fêlée, fendue, de verre, de cuivre, d'aluminium, etc., produit très sensiblement les mêmes effets que lorsqu'elle est intacte.

II. *La nature des molécules du récepteur et leur mode d'agrégation ne paraissent pas exercer sur la nature des sons produits un rôle prédominant.* — En effet : 1° à épaisseur et à surface égales, les récepteurs, de quelque nature qu'ils soient, produisent des sons de même hauteur.

2° Quand l'épaisseur des lames réceptrices diminue de plus en plus, les différences spécifiques qui existent entre leurs modes de production du phénomène s'atténuent de plus en plus quand on rend identique leur surface exposée aux radiations, par exemple en les recouvrant toutes d'une pellicule de noir de fumée.

3° L'effet produit par des radiations ordinaires est, toutes choses égales d'ailleurs, à très peu près le même pour des substances transparentes aussi différentes que le verre, le mica, le spath d'Islande, le gypse, le quartz parallèle ou perpendiculaire à l'axe.

Il en est de même quand on emploie des radiations polarisées, à l'aide d'un nicol par exemple.

III. *Les sons radiophoniques résultent bien de l'action directe des radiations sur les récepteurs.* — Car : 1° on diminue graduellement l'intensité du phénomène en diminuant la quantité des radiations reçues, à l'aide de diaphragmes d'ouverture variable.

2° En polarisant les radiations et en prenant pour lame réceptrice un analyseur mince, tel qu'une lame de tourmaline, les

(¹) L'intensité des sons est d'ailleurs, pour les lames opaques, d'autant plus grande qu'elles sont plus minces; le clinquant de cuivre, d'aluminium, de platine et surtout de zinc, de $\frac{1}{20}$ de millimètre par exemple, donne d'excellents résultats.

sons produits présentent les variations d'intensité correspondant à celles de la radiation elle-même, quand on fait tourner le polariseur ou l'analyseur.

IV. *Le phénomène semble résulter principalement d'une action sur la surface du récepteur.* — Car son intensité dépend beaucoup de la nature de la surface. Toute opération qui diminue le pouvoir réflecteur et augmente le pouvoir absorbant de la surface influe sur le phénomène; les surfaces dépolies, ternes, oxydées, sont les plus convenables.

L'intensité du phénomène est considérablement augmentée quand on recouvre la surface de certaines substances noires en poussière ou non, telles que le bitume de Judée, le noir de platine et surtout le noir de fumée; mais cet effet ne se fait particulièrement sentir que lorsque les lames recouvertes sont très minces : ainsi, sous une épaisseur d'environ $\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$ de millimètre, on obtient de remarquables effets.

J'ai construit, en conséquence, des récepteurs radiophoniques très sensibles à l'aide de plaques de zinc, de verre, de mica, très minces et enfumées.

L'emploi de ces récepteurs sensibles m'a permis d'arriver au résultat suivant :

V. *Les effets radiophoniques sont relativement très intenses.* — Je puis en effet, actuellement, les obtenir non seulement avec les radiations du Soleil et d'une lampe électrique, mais avec la lumière oxyhydrique, la flamme d'un bec de gaz ordinaire, et, par suite, avec les radiations des sources intermédiaires, telles que lampes à pétrole, spirale de platine rougie par un bec Bunsen, etc.

VI. *Les effets radiophoniques paraissent être produits principalement par les radiations de grande longueur d'onde, dites calorifiques.* — Pour le démontrer, sans m'arrêter pour le moment à l'emploi de cuves remplies de liquides absorbants, tels que l'alun, l'iode dissous dans le sulfure de carbone, etc., dont l'effet ne saurait être bien net, j'ai essayé d'explorer avec un récepteur sensible le spectre étalé des radiations agissantes. J'y suis parvenu

avec la lumière électrique de 50 bunsens et en employant des lentilles et un prisme en verre ordinaires : j'ai reconnu que le maximum d'effet est produit par les radiations rouges et infra-rouges invisibles ; à partir du jaune jusqu'au violet et au delà, je n'ai pas obtenu d'effet sensible dans les conditions où j'ai opéré. L'expérience a été réalisée, à plusieurs reprises, avec des récepteurs en verre enfumé, en platine platiné et en zinc à surface nue.

Je suis parvenu d'ailleurs, par une méthode simple, à démontrer que les effets radiophoniques peuvent être produits par des sources dont l'éclat *lumineux* intrinsèque est beaucoup plus faible que celui d'une lampe à gaz ordinaire, et même par des radiations *invisibles* uniquement *calorifiques*.

A cet effet, j'ai reconnu d'abord qu'on pouvait entendre les sons radiophoniques provenant des lampes oxyhydriques et des lampes à gaz sans avoir besoin de lentilles de concentration ; il suffit de les approcher le plus près possible de la roue interruptrice en verre, en limitant le faisceau émis à l'aide d'un diaphragme d'ouverture convenable placé très près de la roue.

J'ai pris alors un disque de cuivre de $0^m,002$ d'épaisseur et d'environ $0^m,040$ de diamètre, fixé à quelques centimètres de distance du diaphragme, et je l'ai chauffé sur la face opposée à la roue à l'aide d'un chalumeau oxyhydrique, en ménageant graduellement l'accès de l'oxygène. On obtient ainsi une source de radiations d'abord invisibles, mais dont la température peut être peu à peu portée au rouge sombre et au rouge clair. Or, dans ce dernier état, en entend très nettement les sons produits par cette source si peu lumineuse, et, si l'on éteint le chalumeau, on entend des sons d'intensité décroissante, il est vrai, mais on les entend encore quand le disque est invisible dans l'obscurité. Ce dernier effet peut être produit d'une manière continue, en modérant assez la flamme du chalumeau pour que le disque conserve une température un peu inférieure à celle du rouge naissant. On peut faire sans difficulté cette observation avec des récepteurs en verre ou en mica, minces et enfumés, et l'on a ainsi un véritable *thermophone*.

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1880.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Besombes, employé aux Lignes télégraphiques, à Marseille;
Chaperon, à Libourne;
Sandoz (Albert), préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris;
Street, ingénieur, à Paris.

M. le Président annonce que M. d'Almeida a légué à la Société deux manuscrits d'Ampère sur l'Électrodynamique.

M. Terquem présente à la Société une lampe de Bunsen perfectionnée.

M. Laurent fait remarquer que la lampe qu'il emploie comme source monochromatique dans son polarimètre a, dans sa partie utile, une intensité au moins égale à celle de M. Terquem, qui l'a reconnu lui-même, dans une expérience faite dans les ateliers de M. Laurent.

M. Terquem fait observer que, dans l'expérience dont vient de parler M. Laurent, la comparaison a porté sur une petite lampe, d'une construction moins bonne que celle qu'il vient de décrire.

MM. Lechatelier et Laurent pensent que l'effet du cloisonnement est le même que celui qu'on obtiendrait en diminuant le diamètre du brûleur : on diminue la vitesse de propagation de la combustion.

M. Blondlot décrit une nouvelle propriété électrique du sélénium.

M. Cornu demande si des expériences ont été faites sous un liquide isolant pour l'électricité et conducteur pour la chaleur, tel que l'huile; l'emploi d'un sel liquide éliminerait une grande partie de l'effet de la chaleur. Il demande également si M. Blondlot a étudié la loi suivant laquelle a lieu le retour de l'électromètre au zéro.

M. Blondlot répond qu'il s'est borné à signaler un fait qui paraît nouveau, mais sans avoir fait assez d'expériences pour pouvoir en proposer une théorie.

M. Mascart dit que les physiciens regardent l'électricité dite de frottement comme due au contact. Il serait donc intéressant d'étudier le phénomène de M. Blondlot, afin de voir s'il se ramène à cette explication.

M. Mercadier décrit ses expériences récentes de radiophonie. Il a pris comme source de radiation un disque de cuivre chauffé au-dessous du rouge sombre et invisible dans l'obscurité, et il a obtenu des sons. Les effets radiophoniques seraient donc dus, non à la lumière, mais à la chaleur.

Sur la constitution de la flamme de la lampe Bunsen et quelques modifications apportées à la construction de cette lampe;

par M. A. Terquem.

La flamme que l'on obtient avec la lampe Bunsen est, comme l'on sait, creuse dans une grande partie de sa longueur, ce dont on peut s'assurer à l'aide d'une toile métallique placée dans la flamme, qui présente un anneau incandescent, avec une tache obscure au centre. De là des difficultés particulières pour obtenir avec ce brûleur des températures très élevées, car la flamme, à cause du cône creux qui en occupe le centre, présente une grande surface de contact avec l'air; de plus, un creuset, par exemple, placé dans cette flamme, ne peut être chauffé dans toute sa hauteur à une même température. En augmentant la quantité d'air qu'entraîne avec lui le gaz, on diminue évidemment la vitesse moyenne de sortie du mélange gazeux à l'orifice supérieur du tube. Le cône creux central diminue de hauteur, la flamme devient pleine dans une plus grande partie de son étendue, mais en même temps elle devient très vacillante, et, après quelques oscillations, la combustion se communique au bec inférieur. Ces effets sont d'autant plus marqués que le tube de la lampe est plus large; c'est ce qui a probablement empêché jusqu'à présent les constructeurs de faire des

lampes Bunsen de très grands diamètres, qui, avec une flamme pleine, auraient pu servir à produire facilement de hautes températures.

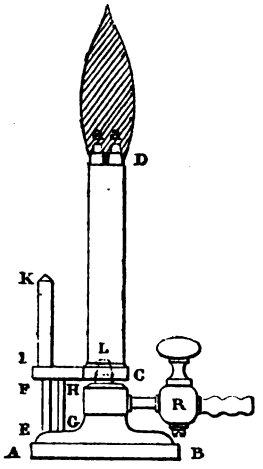
Par diverses dispositions, je suis arrivé : 1° à rendre la flamme de tous les brûleurs à gaz moins vacillante; 2° à mélanger au gaz la quantité maxima d'air que le jet de gaz peut entraîner spontanément, sans que la combustion se communique au bec inférieur; 3° à obtenir cet effet avec des tubes de tout diamètre jusqu'à $0^m,040$, et quelle que soit la pression du gaz. Évidemment, le mélange gazeux qui sort par l'orifice supérieur du tube n'est pas homogène, ni au point de vue de sa composition, ni de sa vitesse. Celle-ci doit être plus grande au centre que le long des parois du tube, à cause de l'excès de vitesse que conserve le jet de gaz sortant du bec; en outre, les filets centraux doivent être plus riches en gaz carbonés. Tant que l'air est aspiré en faible quantité, la vitesse minima d'écoulement reste supérieure à la vitesse de communication de la combustion; mais, si l'air est introduit en plus grande quantité, cette vitesse minima, vers les bords de l'orifice, peut tomber au-dessous de la vitesse inverse de communication de la combustion, quoique la vitesse moyenne de sortie soit supérieure à cette dernière; de là, quand cet équilibre est presque atteint, ces agitations de la flamme, à cause des petites irrégularités qui se produisent dans l'écoulement du gaz, et enfin l'inflammation du bec inférieur par l'action d'une secousse ou d'un simple courant d'air. Cette inégalité de vitesse d'écoulement des filets gazeux explique pourquoi, avec des tubes étroits, l'inflammation du bec inférieur a lieu moins facilement que dans les tubes larges, à cause de la plus grande uniformité d'écoulement du gaz, et pourquoi, avec les premiers tubes, on obtient déjà des flammes presque pleines, quoique assez vacillantes; l'allongement du tube, en permettant un mélange plus intime de l'air et du gaz d'éclairage, produit en partie le même effet.

Pour obvier à ces inconvénients, il faut chercher surtout à égaliser les vitesses de sortie des divers filets du mélange gazeux, ainsi que la composition de ce dernier, en rejetant vers les bords de l'orifice le gaz qui sort par le centre, sans rétrécir toutefois par trop cet orifice. J'y suis arrivé par les dispositions suivantes : 1° en partageant l'orifice de sortie du gaz en plusieurs secteurs, par 2,

4. . . . cloisons verticales fixées sur les parois et descendant très peu dans le tube; évidemment, le jet central est arrêté par le croisillon qui occupe le centre du tube et se trouve rejeté de côté; dans les tubes de $0^m,015$ à $0^m,025$, deux cloisons à angle droit suffisent; pour les tubes plus larges, de $0^m,025$ à $0^m,040$, j'ai mis quatre cloisons, divisant l'orifice en huit secteurs; 2° en plaçant au centre du tube une petite plaque ou une boule qui donne naissance à un orifice annulaire. L'efficacité d'une boule ayant environ un diamètre égal à la moitié de celui de l'orifice est telle, que l'on peut soulever un tube ainsi disposé à plus de $0^m,1$ au-dessus d'un bec sans que l'inflammation se communique à ce dernier; mais, pratiquement, les lames verticales sont suffisantes, plus faciles à poser, et produisent une moins grande diminution de l'orifice. La lampe que j'ai fait faire par M. Stütz, constructeur d'instruments de Physique à Lille, a la disposition suivante :

Le pied de fonte AB (*fig.* 1) porte, comme d'habitude, le tube

Fig. 1.



d'arrivée du gaz, le robinet R et le bec de sortie. L'air est aspiré par l'espace réservé entre le pied et le tube CD. Ce tube peut être élevé ou abaissé en glissant le long des deux tiges EF et GH, dont la première, étant fendue, forme ressort contre les parois du tube IK; ce mouvement peut être produit, pour obtenir plus facilement le réglage, à l'aide d'un levier perpendiculaire au plan de la figure.

L'orifice supérieur du tube CD est divisé, comme il a été dit, en quatre secteurs par deux lames en forme de trapèzes, fixées aux parois du tube [1]. En soulevant peu à peu le tube CD, on finit par obtenir, à la base de la flamme, quatre petits cônes, d'une couleur vert clair, dépassant à peine les cloisons verticales, surmontés d'une flamme pleine de couleur pourpre, avec une bordure bleue. Les surfaces des quatre cônes présentent, comme on devait s'y attendre, au spectroscope, le spectre très brillant de la vapeur de carbone, que donnent tous les gaz carbonés brûlant avec un excès d'air, tandis que le reste de la flamme donne un spectre continu très faible.

Le mode d'introduction de l'air dans cette lampe évite l'emploi d'un second tube extérieur, qui souvent se soude au premier, et, en outre, la chaleur communiquée au pied et au robinet est bien moindre que dans les lampes Bunsen.

Pour observer les modifications que subit la flamme quand on fait varier la quantité d'air mélangée au gaz, il est bon d'entourer la flamme d'un tube de verre, qui rend la flamme plus tranquille. En abaissant le tube CD, on voit les quatre cônes verts s'allonger, ainsi que la flamme pourpre qui les surmonte; les quatre cônes creux finissent par se rejoindre en un seul cône occupant le centre de la flamme (*fig.* 2); la teinte verte et l'éclat de la surface BBB diminuent de plus en plus à mesure que la quantité d'air mélangée au gaz est moins grande; la couche de couleur pourpre C devient moins large, et enfin, juste au moment où la combustion a encore lieu sans précipitation de carbone solide, le cône creux intérieur A, de couleur bleue, comme dans les brûleurs Bunsen, occupe presque toute la longueur de la flamme et se confond, presque jusqu'au

---

[1] Lors de la Communication que j'ai faite sur ce sujet dans la séance du 17 décembre de la Société de Physique, je ne m'étais pas encore bien rendu compte de l'effet produit par les petites lames verticales pour empêcher la rétrogradation de la combustion; je l'avais attribuée, faute de mieux, au changement d'angle des cônes de combustion. A la suite des objections qui me furent faites par M. Lechatelier dans cette séance, je me suis occupé de nouveau de cette question, et je crois être arrivé à une solution satisfaisante, comme l'ont confirmé les expériences que j'ai faites depuis en remplaçant les lames par une boule placée au centre de l'orifice de sortie; dans ce dernier cas, en effet, la surface de combustion présente presque la forme d'une couche sphérique ouverte au-dessus de la boule, ce qui montre que l'angle cône n'a aucune influence dans cette action des lames.

sommet, avec la couche bleue extérieure DDD. A partir de ce moment, si l'on diminue davantage la rentrée de l'air en baissant le tube CD, le carbone solide et lumineux apparaît au sommet du cône creux, et enfin, quand l'entrée de l'air est complètement arrêtée, la flamme devient, comme l'on sait, lumineuse; mais au dehors, sur tout son contour, elle présente encore une auréole bleuâtre, se confondant avec la base bleue de la flamme, où l'on aperçoit tou-

Fig. 2.

jours faiblement les raies caractéristiques de la vapeur de carbone.

Je n'ai effectué l'analyse du gaz de la flamme pourpre que dans le cas où existent les quatre cônes verts à sa base, c'est-à-dire quand la combustion a lieu avec le maximum d'air que le gaz puisse entraîner. Le gaz était aspiré au centre de la flamme à l'aide du bec d'un chalumeau fixé à l'extrémité d'un tube très étroit de caoutchouc, et amené dans un aspirateur primitivement rempli d'eau. Le gaz aspiré dans ces conditions s'est trouvé formé de :

Acide carbonique	5
Oxyde de carbone	9,5
Oxygène	0,5
Azote (par différence)	85

Le gaz aspiré et refroidi n'était plus ni comburant ni combustible; une grande quantité de vapeur d'eau s'est en outre condensée dans le flacon. La flamme est réductrice dans toute la partie pourpre et oxydante seulement sur les bords, comme on peut s'en assurer avec une petite lame de cuivre. La combustion s'effectue donc, comme on le sait du reste, complètement dans la couche verte des

quatre cônes; la flamme pourpre, d'après cette analyse, serait formée en grande partie de vapeur d'eau, d'azote et d'oxyde de carbone. La production de l'oxyde de carbone dans la flamme de ce brûleur est accusée du reste, quelle que soit la quantité d'air mélangée au gaz, par l'auréole bleue qui entoure constamment la flamme.

Quand la flamme est constituée avec la quantité d'air maxima que donne le tirage de la lampe, c'est-à-dire avec les quatre cônes à la base, on constate que la température est très uniforme dans toute la partie pourpre et atteint au moins celle de la fusion du cuivre rouge, puisqu'un fil fin de ce métal fond dans toutes les parties de la flamme. Avec un petit élément thermo-électrique fer-platine enfermé dans un tube de verre effilé et contenant un peu de borax, on constate également, à l'aide de la déviation d'un galvanomètre, la constance de la température dans toute la flamme, que M. Rossetti estime être de 1300°, seulement vers la pointe de la flamme du bunsen. Un creuset de platine chauffé avec cette lampe, grâce à ce que la flamme est pleine, rougit dans toute son étendue, et la température intérieure dépasse 1000°, puisque certains sels très réfractaires, tels que le borax, le pyrophosphate de soude, le silicate de soude, y fondent parfaitement (1).

En plaçant au-dessus des quatre lames un petit disque de cuivre, celui-ci étale la flamme horizontalement, se trouve porté au rouge, et rayonne de la chaleur vers les vases que l'on veut chauffer, et qui ne doivent pas être atteints par la flamme.

Le même brûleur peut être facilement transformé en lampe monochromatique pour l'emploi des saccharimètres. L'intensité de la lumière émise dépasse quatre fois celle des autres lampes employées au même usage, quoique la flamme soit plus petite. Ce qui prouve que la flamme est saturée de vapeurs de sodium, c'est que, avec deux perles de chlorure de sodium placées l'une derrière l'autre, l'intensité de la lumière, mesurée au photomètre, ne change pas.

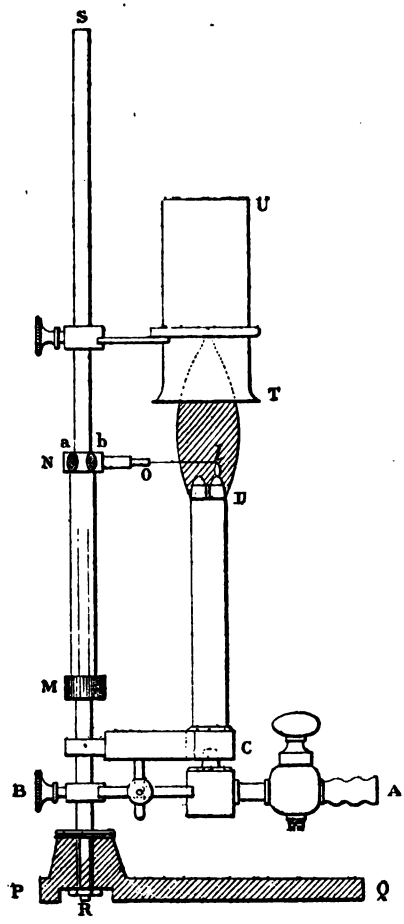
Pour les emplois qui pourraient être faits de cette lampe dans la

(1) Avec une petite boule placée au centre de l'orifice, les phénomènes sont exactement les mêmes; seulement, au lieu des quatre cônes verts, on a, à la base de la flamme, une autre surface de combustion.

saccharimétrie, je lui ai donné la forme suivante. Elle se compose (*fig.* 3) de :

1° Un pied PQ, portant une tige RS le long de laquelle glissent

Fig. 3.



les diverses pièces de l'appareil et sur laquelle on peut les fixer à diverses hauteurs, à l'aide de vis de pression;

2° La pièce AB, qui porte la tubulure A par laquelle arrive le gaz, le robinet et le bec par lequel il s'échappe;

3° Le tube CD, muni à la partie supérieure des deux petites

lames en croix, pouvant être fixé à une hauteur variable et se déplaçant avec la pièce AB, à laquelle il est fixé par une vis de pression;

4° Un tube MN, portant en haut une étoile de cinq fils de fer repliés en Y et terminés chacun par deux boucles contenant les perles de chlorure de sodium, ce qui donne une provision de dix perles de chlorure, c'est-à-dire de quoi faire des observations pendant plus d'une demi-heure avec une lumière sensiblement constante, en remplaçant successivement chaque perle par une autre quand la lumière commence à baisser; pour observer avec un saccharimètre, une seule perle dans la flamme suffit, puisque celle-ci est complètement opaque pour les radiations émises par le chlorure volatilisé et dissocié de la seconde perle; mais, pour éclairer un certain espace, il est préférable d'employer deux perles, en rapprochant les deux branches du fil de fer;

5° Une cheminée, pour activer le tirage et rendre la flamme moins oscillante.

Si l'on remplace le gaz d'éclairage par de l'hydrogène, même en employant une lampe beaucoup plus petite, avec une dépense de 50^{lit} d'hydrogène à l'heure, on obtient une intensité qui est plus de dix à vingt fois plus grande que celle des autres lampes monochromatiques, suivant la grandeur de la flamme.

Sur une nouvelle propriété électrique du sélénium et sur l'existence des courants tribo-électriques proprement dits; par M. R. Blondlot.

J'ai observé une propriété électrique nouvelle du sélénium, laquelle est mise en évidence par l'expérience suivante. A l'un des pôles d'un électromètre capillaire on attache, au moyen d'un fil de platine, un fragment de sélénium recuit, à l'autre pôle une lame de platine. Si l'on amène, en le tenant par un manche isolant, le sélénium au contact avec le platine, l'électromètre reste au zéro, comme on pouvait s'y attendre à cause de la symétrie du circuit; mais vient-on à frotter le sélénium contre la surface du métal,

aussitôt l'électromètre est fortement dévié : on atteint facilement une déviation égale à celle que produirait un élément à sulfate de cuivre.

J'ai constaté que ni le frottement de deux métaux l'un contre l'autre, ni celui d'un corps isolant contre un métal, ni, bien entendu, celui de deux corps isolants, ne peut produire de charge de l'électromètre capillaire.

Le courant produit par le frottement du sélénium est dirigé, à travers l'électromètre, du sélénium non frotté au sélénium frotté. On peut s'assurer que le courant thermo-électrique obtenu en chauffant le contact sélénium-platine va du sélénium chaud au sélénium froid dans le circuit extérieur ; par conséquent, *le dégagement d'électricité que j'ai observé ne peut être attribué à la chaleur qui accompagne le frottement.*

Ce dernier point est important au point de vue théorique.

Les courants que M. Becquerel a obtenus en frottant l'une contre l'autre deux plaques de métal reliées aux pôles d'un galvanomètre sont toujours, comme M. Becquerel l'a constaté lui-même, de même sens que ceux qu'on produirait en chauffant la surface de frottement (1). M. Gaugain (2) a cru pouvoir affirmer que ces courants étaient dus à l'échauffement produit par la friction, indépendamment de tout effet direct de celle-ci. M. G. Wiedemann partage la même opinion (3). Or l'expérience que j'ai faite montre que, dans le cas du sélénium, l'effet direct du frottement existe certainement; il est extrêmement probable qu'il en est de même dans le cas de deux métaux, comme l'avait présumé M. Becquerel.

L'électromètre de M. Lippmann joue, dans l'expérience qui fait le sujet de cette Note, le rôle d'un galvanomètre d'une sensibilité très grande et indépendante de la résistance du circuit. Il n'y a pas ici équilibre entre la force électromotrice du ménisque de l'électromètre et celle de la source, à cause du peu d'électricité produite par cette dernière; la petite quantité d'électricité à haute tension produite par le frottement se communique au ménisque

---

(1) Becquerel, *Annales de Chimie et de Phys.*, 2e série, t. XXXVIII, p. 113; 1828.
(2) Gaugain, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. V, p. 31; 1865.
(3) *Galvanismus und Electromagnetismus*, t. I, § 168.

et, vu la grande capacité de celui-ci, n'en élève que fort peu la différence électrique.

Ce dernier fait explique une particularité remarquable que j'ai observée : si, après avoir obtenu par le frottement une déviation électrométrique, on cesse de frotter, la déviation persiste ; cela provient de ce que le sélénium, qui avait laissé passer l'électricité à haute tension due au frottement, oppose une résistance que ne peut surmonter la faible polarisation du mercure de l'électromètre.

Le choc et même la pression produisent le même effet que le frottement, quoique d'une manière moins marquée.

ALLOCUTIONS PRONONCÉES SUR LA TOMBE DE M. J.-CH. D'ALMEIDA.

10 novembre 1880.

Discours de M. Mascart.

M. Mascart, Président de la Société française de Physique s'est exprimé en ces termes au nom de la Société :

« Messieurs,

» Celui que la mort vient de frapper d'une manière si inattendue laisse parmi nous un vide irréparable, et je ne saurais exprimer la douleur profonde qu'ont éprouvée tous les membres de la Société française de physique, dans laquelle il ne comptait que des amis.

» En dehors de ses travaux personnels et de ses services universitaires, M. d'Almeida a consacré les dernières années de sa vie à deux grandes œuvres auxquelles son nom restera attaché.

» Avec l'aide de quelques collaborateurs, il créa d'abord le *Journal de Physique,* qui tient aujourd'hui une place importante dans la littérature scientifique, dans le but de propager le goût de cette science, d'en faire connaître le progrès, de vivifier l'enseignement par l'introduction des idées nouvelles et de provoquer les découvertes.

» Il trouva bientôt qu'il y avait encore mieux à faire, et il chercha à établir un lien plus intime, une communion d'idées plus féconde entre les hommes qui cultivent la Physique et ceux qui en suivent le développement; c'est à son activité infatigable, à son amour du bien et à son esprit conciliant que notre Société doit son existence. Il se préoccupait surtout d'être utile aux Membres éloignés et aux travailleurs isolés qui n'ont pas les ressources des grands laboratoires et des riches bibliothèques; c'est dans cette pensée qu'il organisa le prêt des instruments de recherche et cette bibliothèque roulante qui répandait la connaissance des publications étrangères.

» L'aménité de son caractère et la justesse de ses vues en avaient fait l'ami et le guide de notre Société. Il en suivait la marche dans les moindres détails; l'ordre du jour de nos séances était pour lui un souci continuel, lors même que les devoirs de ses fonctions le tenaient éloigné de nous.

» Vous avez tous été témoins de son dévouement; il était mû, en réalité, par le sentiment d'un grand devoir patriotique, qu'il avait conservé de ses souvenirs du siège de Paris, qu'il communiquait à ses intimes et qu'il a indiqué avec discrétion dans la préface de son Journal: contribuer pour sa part au développement des forces intellectuelles et morales de la France.

» Comme s'il eût le pressentiment de sa fin subite, il s'était préoccupé de ce que deviendrait son œuvre après lui. La Société de Physique, par ses Statuts et par sa tradition, est animée de l'esprit qu'il avait voulu lui imprimer : elle vivra et grandira. L'avenir était moins certain pour le *Journal de Physique,* qui exige une action plus personnelle. Réunissant un jour quelques-uns de ses collaborateurs habituels, il nous exposa avec une simplicité et une philosophie touchantes qu'il avait gardé pour lui seul toute la responsabilité de l'entreprise tant que le succès pouvait rester douteux, mais que cette publication avait reçu un bon accueil, et il nous demanda d'accepter les clauses d'une disposition testamentaire qu'il avait prise pour en assurer la continuité. Ses vues seront remplies, et nous tâcherons de faire honneur à la mémoire d'un homme de bien qui a noblement servi la Science et sa patrie.

Discours de M. de Gasté.

M. de Gasté, Député, Président de l'Association amicale des anciens Élèves du Lycée Henri IV, a pris la parole après M. Mascart :

« Messieurs,

» Au nom des anciens élèves du Lycée Henri VI, que je représente à cette triste cérémonie, je viens apporter mon tribut de regrets et d'éloges à l'homme éminent dont un des maîtres de la Science française vient de vous retracer avec tant d'autorité la carrière scientifique.

» L'Association amicale a perdu en lui un de ses membres les plus dévoués à la camaraderie dont elle est le centre et le lien. D'Almeida fut un de ses fondateurs, un de ses présidents avec des savants illustres comme Élie de Beaumont, de Lesseps, Berthelot. Il apporta à cette œuvre le précieux concours de son génie organisateur. Le lendemain du jour où il fut élu président par le suffrage de ses anciens camarades, de ses anciens élèves, l'Association comptait cent adhérents de plus, tant était grande l'autorité de son nom et la popularité dont il jouissait dans ce Lycée, où il fut trente ans professeur. Jamais président ne déploya plus d'activité que lui, ne mit, au service des camarades trahis par la fortune, plus de dévouement.

» On a parlé de son talent de professeur : j'ajouterai qu'il savait à la fois s'attirer un respect absolu et une profonde affection de la part de ses élèves ; il eut au plus haut degré l'autorité personnelle, celle qui vient du caractère, du cœur et de l'exemple. Il savait vouloir ; il aimait ses élèves comme ses enfants, comme une famille qui eut tout le dévouement de ce grand travailleur, resté seul jusqu'au jour où la mort vint le frapper; enfin, il donna toujours l'exemple du travail, dans ce petit laboratoire annexé par lui à la classe de Physique de Henri IV, où, dimanches et jeudis, il consacrait à ses travaux personnels le temps que lui avaient laissé ses classes de la semaine.

» On me permettra de rappeler, ici, qu'il fut un républicain convaincu, énergique, un républicain de la veille, un patriote ardent. Ses anciens collègues n'ont pas oublié l'énergie qu'il a

déployée après le coup d'État de décembre, et, s'il ne fut pas révoqué, on peut dire qu'il fit tout ce qu'il fallait pour l'être. A l'heure du danger, au jour où sa patrie adoptive était en proie à l'invasion, il mit au service de la défense nationale l'indomptable énergie qui anima jusqu'au bout son corps miné par la maladie et le travail, et aussi les précieuses ressources de son esprit scientifique. Il subit les plus dures fatigues et exposa sa vie pour établir une communication entre la province et Paris assiégé. La croix lui fut donnée, non moins pour ses services pendant la guerre que pour ses travaux scientifiques et universitaires. Il remplissait les fonctions d'inspecteur général de l'Instruction publique avec la conscience et le talent qui ont honoré toute sa carrière, lorsque la mort est venue le frapper: on peut dire qu'il est mort en soldat, sur la brèche. « *Laboremus !* » ce fut sa devise : c'est l'encouragement que son exemple adresse aux jeunes camarades encore sur les bancs du Collège, qu'une bonne pensée de notre Proviseur a donnés comme dernière escorte au professeur éminent de notre cher Lycée Henri IV. D'Almeida fut pour nous un camarade excellent; pour le Lycée, un professeur hors ligne et une de ses gloires; pour la République, un défenseur ardent; pour la patrie, un citoyen dévoué. J'ajoute, et ce n'est pas son moindre éloge, que ce fut vraiment un homme, un caractère!

» C'est dire tous nos regrets et notre deuil dans ce suprême adieu !

Discours de M. Gaston Bonnier.

M. Gaston Bonnier, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure , prend ensuite la parole , au nom des élèves de M. d'Almeida.

« Messieurs,

» Je viens, au nom des élèves de M. d'Almeida, dire un dernier adieu à notre cher professeur.

» La rapidité avec laquelle notre maître nous a été enlevé, sans que nous puissions même lui serrer une dernière fois la main, ajoute encore à notre douleur.

» Ceux qui ont suivi les leçons de M. d'Almeida n'oublieront

jamais la grande affection qu'il avait pour eux, l'excellente direction qu'il savait donner à leurs études et aussi celle qu'il savait donner à leur esprit.

» Je revois cette salle du Lycée Henri IV quand, pour la première fois, il nous fit une leçon de Physique. Il avait conquis notre sympathie, notre respect profond, notre confiance absolue, et cela dès le premier moment.

» Et, plus tard, comme cette confiance s'était encore accrue, alors que nous avions compris l'excellence de son enseignement et de sa méthode, alors que nous avions senti quel intérêt réel il nous portait !

» La préoccupation principale de M. d'Almeida, lorsqu'il faisait un Cours, n'était pas de préparer les élèves en vue d'un examen : il cherchait, avant tout, à leur faire aimer la science qu'il enseignait, à leur donner le goût du travail. Il s'occupait souvent plus des élèves faibles ou moins bien doués que de ceux qui étaient à la tête de leur classe. Aussi était-il aimé de tous, des derniers comme des premiers.

» A ceux de ses élèves qui se destinaient à devenir professeurs, l'enseignement de M. d'Almeida se présentait comme un modèle qu'ils cherchaient à imiter. Combien de fois, avec mon camarade M. Boutroux, nous sommes-nous rappelé notre cher professeur, lorsque nous préparions ensemble des leçons de Physique ou de Chimie à l'École Normale !

» En troisième année, nous devions, suivant l'usage, faire quelques classes dans un Lycée de Paris. Nous avions tous deux choisi le Lycée Henri IV. Nous revîmes cette même classe où nous avions été élèves. L'un après l'autre, nous remplacions notre maître pour quinze jours. Mais il était là, attentif aux leçons que nous faisions ; à la fin de la classe, il nous signalait les fautes ou nous donnait les plus utiles indications.

» Après nous avoir instruits, il nous apprenait maintenant à enseigner.

» M. d'Almeida ne perdait pas de vue ses élèves à la sortie du Lycée, ceux surtout qui avaient choisi la carrière scientifique. Lorsqu'une difficulté se présentait dans leurs travaux, ils savaient qu'ils trouveraient toujours chez leur ancien maître un accueil affable et bienveillant, en même temps que de précieux conseils.

» Aux heures d'espoir ou de découragement, nous ne viendrons plus maintenant, hélas ! frapper à sa porte de la rue Bonaparte, à l'heure du matin où nous étions toujours sûrs de le rencontrer.

» Il nous quitte, laissant chez nous tous d'impérissables souvenirs. Nos cœurs et nos esprits garderont l'impression durable qu'il y a tracée.

» Les regrets qu'il emporte sont profonds et nombreux, comme le prouve la présence de ses collègues, de ses élèves et de tant d'amis venus pour lui dire un suprême adieu. »

CATALOGUE

DE

LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1880), in-4°.
Annales de Chimie et de Physique (1873 à 1880), in-8°.
Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1873 à 1880), in-4°.
Annales télégraphiques (3e série, 1874 à 1880), in-8°.
Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.
Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1880), in-8°.
Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1880), in-8°.
Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1880), in-18.
La lumière électrique, année 1880.
L'Aéronaute (juillet 1877 à décembre 1880), in-8°.
Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.
Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).
Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1879), in-4°.
Proceedings of the Royal Society (t. XXIII, nos 156 à 159; t. XXIV à XXIX, nos 164 à 206), in-8°.
Philosophical Magazine (1873 à 1880), in-8°.
Annales de Poggendorff (1873 à 1880), in-8°.
Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 5, à 1880), in-8°.
Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1880), in-8°.
The Physical Society of London. Proceedings (mars 1874 à juillet 1880), in-8°.
The scientific Proceedings of the royal Dublin Society (1877 à 1880).
The scientific Transactions of the royal Dublin Society (1877 à 1880).

Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (1877 à 1880), in-4°.

Fortschritte der Physik (1845 à 1877, t. I à XXXI), in-8°, table des t. I à XXXI.

H.-W. Dove und *L. Moser*. — Repertorium der Physik, 1847-1846; 7 vol.

G.-E. Fechner. — Repertorium der Experimental-Physik, 1832; 3 vol.

Ferdinand Bothe. — Physikalisches Repertorium oder die wichtigsten Sätze der elementaren Physik, 1871; 1 vol.

Pouillet Muller. — Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 1857; 7 vol.

G. Karsten F. Harms und *G. Meyer*. — Einleitung in die Physik, 1869; 1 vol.

Quintus Icilius. — Experimental-Physik, ein Leitfaden bei Vorträgen, 1861; 1 vol.

W. Eisenlohr. — Lehrbuch der Physik, 1857; 1 vol.

Challis. — Essay on the principles of Physics, 1873; 1 vol.

A. Wüllner. — Experimental-Physik, 1870; 3 vol.

A. Naccari et *M. Bellati*. — Manuale di Fisica pratica, 1874; 1 vol.

D^r *Al. Mousson*. — Die Physik auf Grundlage der Erfahrung, 1875; 3 vol.

Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).

Crónica cientifica de Barcelona (1878, t. I), in-8°.

Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont*, *Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Œuvres de L. Foucault. 1 vol. avec planches (1878).

Bulletin trimestriel des publications de la librairie Gauthier-Villars (3e et 4e trim. de 1877, 1er et 2e trim. de 1878).

Le sucre; par M. *Dubrunfaut*, 2 vol. in-8°.

Nouveau Règlement pour la construction et l'ameublement des écoles primaires; par M. *Planat*.

Musée de Kensington. Handboock to the special Loan Collection of Scientific apparatus, 1 vol. in-8° (1876).

Catalogue of the special Loan Collection of Scientific apparatus at the south Kensington-Museum.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extrait des *Comptes rendus*).

Notice sur le R. P. Secchi; par MM. *Ferrari* (*S.*) et *Marchetti*, br. in-4°.

Notice sur les travaux de M. Romieu, par M. *Roche*, br. in-4°.

Notice sur Pierre-A. Favre; par M. *F. Le Blanc*, in-4°.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 br. in-8°.

Notice sur les objets exposés par le Dépôt des fortifications à l'Exposition universelle (1878); br. in-8°.

Description d'un Baromètre-balance enregistreur; par M. *Crova*, br. in-4°.

Congrès international des sciences géographiques; 2e session (Paris, 1875); Origine et historique du Congrès, br. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau*.

Sulla vescia natatoria dei Pesci; par M. *Marangoni*.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi e leggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Neuere Apparate für natürwissenschaftliche Schule und Forschung gesammelt; von *Th. Edelmann*, 2 vol.

Observation sur le langage mathématique et sur l'enseignement du calcul; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Réforme analytique de la règle de trois ou règle d'or et Notions d'Analyse mathématique d'après Descartes, Pascal et Arnauld; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Du calcul des trajectoires, d'après les expériences de M. Bashforth sur la résistance de l'air; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la résistance de l'air sur les projectiles, d'après les expériences d'Athanase Dupré sur l'écoulement des fluides; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur les appareils Marcel Deprez pour la mesure des pressions des gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur l'intégromètre Marcel Deprez et le planimètre Amsler; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropici dell' idrogeno ; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua ; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique ; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules ; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer, par M. *Decharme*, br. in-8°.

New determination of the mechanical equivalent of heat; par M. *Joule*, br. in-4°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux ; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question de température (concours 1872) ; par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles ; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874 ; par M. *Crova*, br. in-4°.

Études des radiations émises par les corps incandescents; mesure optique des hautes températures; par M. *Crova*, br. in-8°.

Experiments on the heat conduction in stone based on Fourier's « Théorie de la chaleur (2e Partie) » ; par *Ayrton* et *John Perry* (Yokohama, 1875), in-8°.

Étude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope ; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique ; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Sull' azione della cosi detta forza catalitica, spiegata secondo la theoria termodinamica; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe) ; par M. *Hesehus*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'Orgagna in Firenze ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'Orgagna in Firenze ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia ; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso, manometro regolatore e fornello a petrolio; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari ; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Étude sur les alliages de plomb et d'antimoine ; liquations et sursaturations qu'ils présentent ; par M. *de Jussieu*, br. in-18.

Mémoire sur la vitesse de propagation des flammes; par M. *F. de Benevides.*

Fr.-Jos. Pisko. — Die neueren Apparate der Akustik, 1865; 1 vol.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme.*

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*); par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur les courbes dues à la combinaison de deux mouvements vibratoires perpendiculaires; par M. *Terquem*, op. in-4°.

Acoustique et optique des salles de réunion; par M. *Lachez*, 1 vol., 1879.

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, suivi des Causes physiologiques de l'harmonie musicale de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*, in-8°.

Des grandeurs électriques et de leur mesure en valeurs absolues; par M. *Blavier*, 1 vol. in-8°.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system); par MM. *Lartigue*, *Tesse* et *Prud'homme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (thèse); par M. *Mouton*, in-4°.

Intégration des équations différentielles auxquelles conduit l'étude des phénomènes d'induction dans les circuits dérivés (Thèse, 1880); par M. *Brillouin.*

Note sur la théorie du téléphone; par M. *Navez.*

Réponse aux Observations de M. du Moncel; par MM. *Navez père* et *fils.*

Discussion sur la théorie du téléphone entre MM. *du Moncel* et *Navez.*

Lettre relative à la Note de MM. Navez père et fils sur la théorie du téléphone; par M. *du Moncel*, br. in-8°.

Des applications du téléphone et du microphone à la Physiologie et à la Clinique, 1880; par M. *Boudet de Paris*, 1 vol.

Les principales applications de l'électricité; par M. *Hospitalier*, 1 vol.

Contribucion al estudio de la Fonographia; par M. *Roig y Torres*, br. in-4°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Cinquième Note sur les paratonnerres. Coût des paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877) ; par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre;* par M. *Hervé Mangon*, br. in-4°.

The resistance of galvanometer coils; par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

The resistance of the electric light (Ext. de la Soc. of Eng. Teleg.); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

Note on electrolytic polarisation (Extrait); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, in-8°.

Versuche vermittelst der Platten. Elektrometer über die Volta'schen Fundamentalversuche; par M. le Dr *Ph. Carle.*

Les télégraphes; par M. *Ternant*, 1 vol. in-8°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie Duplex ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz, par M. *Bobileff* (en russe), br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe); par M. *Bergman*, br. in-8°.

Sur une application de l'éclairage électrique faite à la filature du Champ-du-Pin; par M. *Grosseteste*, br. in-4°.

Rapport sur l'éclairage électrique avec la lampe Reynier; par M. *Dupuy*, br. in-8°.

Machina dielettrica ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

The electrical properties of Bee's-Wax and lead chloride (Extrait du Philos. Mag.); par M. *Ayrton*, br. in-8°.

Sopra un' azione ponderomotrice interna della corrente elettrica; par M. *Roiti*, br. in-8°.

The resistance of the arc of the electric light; by *Ayrton* en *John Perry*, br. in-8°.

Sur la décomposition par la pile des sels dissous dans l'eau (Thèse, 1856); par M. *J.-Ch. d'Almeida.*

Du zinc amalgamé et de son attaque par les acides; par M. *J.-Ch. d'Almeida.*

Étude sur les machines magnéto-électriques; par M. *J. Joubert*, br. in-4°.

Note on electrolytic polarisation; by *Ayrton* and *John Perry*, br. in-8°.

Précis instrumental et thérapeutique; par M. *Tripier*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Recherches sur l'induction unipolaire, l'électricité atmosphérique et l'aurore boréale; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Théorie des phénomènes électriques; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Recherches sur la force électromotrice dans le contact des métaux et sur la modification de cette force par la chaleur; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Some electrical experiments, with crystalline selenium; par *Robert Sabine*.

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Filicie Matteucci ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6e, 7e et 8e édit.); par M. *Duchemin*, 3 br. in-4°.

Le photomètre électrique (en russe); par M. *Egoroff*, br. in-8°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil; par M. *Le Blanc* (*Félix*), br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

J. Hogg.— The microscope and its history, construction and applications, 1856; 1 vol.

P. Harting und *Fr.-Wilh. Theile.*— Das Mikroskop. Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben, 1866; 3 vol.

Sur la limite ultra-violette du spectre solaire; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur l'absorption par l'atmosphère des radiations ultra-violettes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Observation sur la limite ultra-violette du spectre solaire à diverses altitudes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur la loi de répartition suivant l'altitude de la substance absorbant, dans l'atmosphère, les radiations solaires ultra-violettes; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Étude du spectre solaire ultra-violet; par M. *Cornu*.

Sur les raies sombres du spectre solaire et la constitution du Soleil; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Sur quelques conséquences de la constitution du spectre solaire; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi*.

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Illusions astronomiques; par M. *Schœdoff*, br. in-8°.

Azione dei raggi solari sui composti alcidi d'argento; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Description et emploi du télémètre de poche à double réflexion; par M. *Gaumet*, br. in-8°.

The mirror of Japan and its magic quality; by *Ayrton*, br. in-8°.

The magic mirror of Japan; by *Ayrton* and *J. Perry*, br. in-8°.

Anneaux colorés produits à la surface du mercure; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Nouveau procédé phonéidoscopique par les anneaux colorés; par M. *A. Guébhard*.

Exposé élémentaire des découvertes de Gauss et de Listing sur les points cardinaux des systèmes dioptriques centrés; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Note sur quelques nouveaux becs intensifs (becs Siemens à régénérateurs, etc.; par M. *Cornuault*, br. in-8°.

Une application des images accidentelles. Bibliographie analytique des principaux phénomènes subjectifs de la vision depuis les temps anciens jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, suivie d'une bibliographie simple pour la partie écoulée du siècle actuel; par M. *J. Plateau*, 7 br. in-4°.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Govi*, opusc. in-18.

Meteorologica Romana; par M. *Ferrari* (*G.-St.*), br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Note sur l'organisation des études météorologiques en France; par M. *Goulier*, br. in-8°.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876-1877; par M. *Meurien*.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876 à 1878; par M. *Meurien*.

Illusions astronomiques; par M. *Th. Schœdoff*, br. in-8°.

Théorie mathématique des formes cométaires; par M. *Th. Schwedoff*, br. in-8°.

Contributions à l'étu le de la grêle et des trombes aspirantes; par M. *Colladon*, br. in-8°.

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Joh. Müller. — Lehrbuch der kosmischen Physik, 1872; 1 vol. avec Atlas.

Joh. Müller. — Mathematischer Supplementband zum Grundriss der Physik und Meteorologie, 1866; 1 vol.

Joh. Müller. — Auflösungen der Aufgaben des Grundrisses der Physik und Meteorologie sowie des dazu gehörigen mathematischen Supplementbands, 1866; 1 vol.

A. de Humboldt. — Kosmos, 1845; 1 vol.

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT LES ANNÉES 1877-1880.

Dix éléments Grenet; donnés par M. *Ducretet*.
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly*.
Appareil à projection; donné par M. *J. Duboscq*.
Lampe d'émailleur; donnée par M. *Wiesnegg*.
Gazomètre en cuivre; donné par M. *Wiesnegg*.
Rhé-électromètre; donné par M. *Melsens*.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1881.)

BUREAU.

MM. CORNU, *Président.*
GERNEZ, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
DUFET, *Secrétaire.*
BENOIT (René), *Vice-Secrétaire.*
NIAUDET, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. BERGON, 1879.
BISCHOFFSHEIM.
DUMOULIN-FROMENT.
JAMIN.

JANSSEN, 1880.
SALET.
Ste-CLAIRE DEVILLE (H.).
SEBERT.

BOUTY. 1881.
D'EICHTHAL.
GARIEL.
JAVAL.

Membres non-résidants :

MM. LECOQ DE BOISBAUDRAN (Cognac), 1879.
VIOLLE (Lyon).
ROSSETTI (Padoue).
TERNANT (Marseille).

BICHAT (Nancy), 1880.
GOVI (Naples).
GRIPON (Rennes).
SCHWEDOFF (Odessa).

ALLUARD (Clermont-Ferrand). 1881.
ANDREWS (Belfast).
LALLEMAND (Poitiers).
WUNSCHENDORFF (Rouen).

MEMBRES HONORAIRES.

MM. Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
Broch (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
Fizeau (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
Joule (J.-P.), de Manchester.
Stokes (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir William Thomson, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.
Plateau, Membre de l'Académie royale des Sciences à Gand.

MEMBRES A VIE [1].

Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Mascart, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
Niaudet, Ingénieur civil, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 120, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres, 41, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue des Feuillantines.
Duboscq, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.
Duclos, Directeur de l'École Normale de Perpignan.
Blavier, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), 3, rue Taitbout.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.

---

[1] Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. III, dernier paragraphe.)

MM. Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.

Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

Brion, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 29, Regency Street, Westminster S. W. (Londres).

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

Blondlot, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

Guebhard, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 12, rue de Chartres (Neuilly-sur-Seine).

Raffard, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

Bordet (Lucien), ancien élève de l'École Polytechnique, 121, boulevard Haussmann.

Lippmann, Maître de conférences à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

Villiers (Antoine), Chef des travaux chimiques à l'École de Pharmacie, 125, rue Notre-Dame-des-Champs.

Javal, Directeur du laboratoire d'Ophthalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

Grosseteste (William), Ingénieur, E. C. P., 47, Sinne, Mulhouse.

Potier, Ingénieur des mines, répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

Meyer, Ingénieur des Télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works Co limited, à Londres.

Rodde (Ferd.), 3, cité Magenta.

Friedel, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107 (Rio de Janeiro).

Thollon, 3, rue Soufflot.

Gariel (C.-M.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Moncel (comte du), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg.

MM. Joubert, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.
Cabanellas, Ingénieur, 11, rue Bernoulli.
Bréguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique, 4, rue Perrault.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.
ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).
ALEXANDRE (Henri), Élève de l'École Centrale, 7, boulevard de Morland.
ALEXIS (Ferdinand-Marius), Commis principal au Bureau télégraphique central à Marseille.
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
ANDREWS, Fortwilliam Park, Belfast (Irlande).
ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.
ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 157, avenue d'Eylau.
ARNAUD, Notaire à Barcelonnette (Basses-Alpes).
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
ARSONVAL (d'), 20, avenue des Gobelins.
AUBRY (Félix), Principal du Collège de Chalon-sur-Saône.
AUBRY, Inspecteur régional des lignes télégraphiques, à Limoges.
AUGUEZ (Émile), Inspecteur des contributions indirectes, 60, faubourg Saint-Vincent, à Orléans.
AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.
AYMONNET, Répétiteur à l'École d'Agriculture de Grignon.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.
BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.
BAILLY, Professeur au Lycée de Pau.
BANET-RIVET, Professeur au Lycée de Nice.
BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Neuve-Fontaine Saint-Georges.
BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.
BARON, Inspecteur général des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.
BARRAU DE MURATEL (Maurice de), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.
BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.
BAUDOT, Employé des lignes télégraphiques, 73, rue du Cherche-Midi.
BEAU (Henri), ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

MM.

BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, 65, boulevard Saint-Michel.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 57, rue Cuvier.

BEDOS, Professeur au Lycée, 30, rue de la Prade, à Carcassonne.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne)

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BELLOT (**Jules**), Manufacturier à Loches (Indre-et-Loire).

BENEVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Administrateur des lignes télégraphiques, 56, rue Madame.

BERSON, Préparateur de Physique au Collège de France.

BERTHELOT, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

BERTHEREAU (**Édouard**), Préfet des Côtes-du-Nord.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège de Tulle.

BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, 45, rue d'Ulm.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 6, rue de Seine.

BESOMBES, Employé des lignes télégraphiques, à Marseille.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences, 41, rue Philibert, à Dijon.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), 3, rue Taitbout.

BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.

BLIN (**Gaston**), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

BOBILEFF, Docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOISTEL, Ingénieur civil, 8, rue Picot (avenue du Bois de Boulogne).

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe (Passy).

BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration générale des lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle.

BONVALOT, Ingénieur, à Dijon.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.

BORGMAN, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de St-Pétersbourg (Russie).

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

MM.

BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.
BOURGET, Recteur de l'Académie d'Aix.
BOURGUET (**Lucien du**), 3, place Bernex, à Marseille.
BOUSQUET, Maître adjoint à l'École normale de la Sauve (Gironde).
BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 1, rue des Deux-Portes Saint-Jean.
BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.
BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.
BREGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BREGUET (**Antoine**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 4, rue Perrault.
BREWER fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.
BRILLOUIN, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Sainte-Catherine-d'Enfer.
BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue Denfert-Rochereau.
BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège).
BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph à Barcelone (Espagne).
BRUNHES, Professeur au Lycée, 56, quai de Tounis, à Toulouse.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.
BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.
BUISSON, Ingénieur, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (**G.**), Ingénieur, 11, rue Bernoulli.
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CADIAT, Ingénieur, 24, rue Meslay.
CAEL, Inspecteur des Télégraphes, 218, boulevard Saint-Germain.
CAILLETET, Correspondant de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine.
CALEMARD DU GENESTOUX, Lieutenant-Colonel d'Artillerie, à Verdun.
CARAGUEL, Avocat, à Castres.
CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, 36, rue du Luxembourg.
CASALONGA, 15, rue des Halles.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.
CHABRERIE, Professeur au Collège de Brives.
CHAMAND (**Joseph**), capitaine au 139e de ligne, à Clermont-Ferrand.

MM.

CHAPERON (**Georges**), 40, place Decazes, à Libourne.
CHARLES, Directeur des ateliers de l'Administration des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.
CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CHAUVEAU, Professeur de Physique au Lycée Saint-Louis.
CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor (Rio de Janeiro).
CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CLAVERIE, Professeur au Lycée d'Angoulême.
CLÉRAC, Sous-Insp^r des Lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue des Feuillantines.
CORNU, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.
COUHIN (**Claude**), Avocat à la Cour d'Appel, 89, rue de Rennes.
COULIER, Pharmacien inspecteur des armées, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 76, boulevard Saint-Michel.
COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.
CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROS (**Ch.**), 10, rue Saint-Ferdinand.
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.
CUSCO (le D^r), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 2, rue Gluck.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 25, rue Alsace-Lorraine, à Toulouse.
DAGUIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.
DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).
DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.
DAMIEN, Professeur au Lycée, à Lille, 2, rue de la Louvière.
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DAVID (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.
DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.
DEBRUN, Préparateur à la Faculté des Sciences, 1, rue Rolland, à Bordeaux.
DECLERC, Professeur au Collège de Langres (Haute-Marne).
DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.
DELAURIER, 71, rue Daguerre.
DELESTRÉE, Inspecteur d'Académie, à Niort.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée, 4, rue Jeanne d'Arc, à Orléans.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, 15, rue Champollion.

MM.

DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard Saint-Michel.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 7, boulevard des Capucines.

DESPRATS, Professeur au Collège de Millau (Aveyron).

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, à Bar-le-Duc.

DOULIOT, Principal du Collège de Langres.

DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments de Physique, 30, rue Monsieur-le-Prince.

DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.

DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

DUCLOS, Directeur de l'École Normale de Perpignan (Pyrénées-Orientales).

DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue des Feuillantines.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, carrefour de l'Observatoire.

DUJARDIN, 89, boulevard Saint-Michel.

DUJARDIN, Docteur en Médecine, rue des Malfonds, à Lille.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 60, rue des Tournelles.

DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 5, rue de Mirbel.

EHRHART (**Théophile**), Pharmacien, 5, rue Battant, à Besançon.

EICHTHAL (baron **d'**), 98, rue Neuve-des-Mathurins.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université de Varsovie (Russie).

ÉLIE, Professeur au Collège, 74, rue Saint-Gilles, à Abbeville.

ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

ÉTARD (**Alexandre**) 49, Boulevard Voltaire.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Fontanes, 167, rue du Faubourg-Saint-Martin.

FAURE, Ingénieur, 108, boulevard Rochechouart.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 104, rue du Bac.

FAVERGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, boulevard d'Enfer, 6 (au coin de la rue du Bac).

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.

FERRAY (**Édouard**), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

FONTAINE (**Hippolyte**), 15, rue Drouot.

FOURNIER (**Félix**), 115, rue de l'Université.

FRIDBLATT (**A.**), Contrôleur du Télégraphe, à Melun.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

MM.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 60, rue Grenelle Saint-Germain.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.

GARBE, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 2, rue Levacher, à Alger (Algérie),

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GARIEL (**C.-M.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GARZA (**Pedro**), Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

GAUMET, Lieutenant d'Infanterie, 52, rue Clerc.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.

GAY, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 13, place Pey Berland, à Bordeaux.

GÉRALDY (**Frank**), Ingénieur électricien, 33, rue Saint-Denis, à Asnières.

GERMAIN (**Pierre**), employé des Télégraphes, à Clermont-Ferrand.

GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur au séminaire de Lachapelle, près Orléans.

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.

GOTENDORF (**Silvanus**), Administrateur Directeur de la Compagnie belge des Téléphones, 30, rue de l'Écuyer, à Bruxelles (Belgique).

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur à l'École normale de Cluny.

GOVI, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

GOWER (**Frédérick-Allen**), Ingénieur, Q. Great Winchester street, London, E.-C.

GOULIER, Colonel du Génie, 49, rue Vanneau.

GOUY, Docteur ès sciences, 10, rue de Vaugirard.

GRAMMACINI (**G.-H.-F**), Receveur du Bureau télégraphique central à Marseille.

GRAVIER, Ingénieur, 25, rue Lezsno, à Varsovie (Russie).

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber Gutta-percha and telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber Gutta-percha and telegraph Works C°, Silwertown. Essex, à Londres.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.

GRIVEAUX, Professeur au Prytanée de la Flèche.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, 36, boulevard Saint-Martin, à Saint-Quentin.

MM.

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 47, E. C. P. Sinne, Mulhouse.

GUEBHARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 12, rue de Chartres, à Neuilly-sur-Seine.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUEROUT, 15, rue Champollion.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

HAUCK (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

HESEHUS (**N.**), Attaché à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, 23, rue d'Arcole.

HOSTEIN, Professeur au Lycée de Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 14, quai de Béthune.

HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.

HUGUENY, Prof. à la Faculté des Sciences, 4, traverse du Chapitre, à Marseille.

HUREAU DE VILLENEUVE (le Dr), 95, rue Lafayette.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

INFREVILLE (**G. d'**), Électricien de la Western Union Telegraph Co, 39, Dey street, à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

ITSCHNER, Principal du Collège de Béziers.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 52, rue de Naples.

JAMIN, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 9, rue Mariès, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophthalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JENNESSON, ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

JENNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 74, rue de Dunkerque.

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.

JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 15, rue Drouot.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet (Grenelle-Paris).

JOULE (**J.-P.**), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester (Angleterre).

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**de**), Imprimeur, à Autun.

MM.

KERANGUÉ (Yves de), Capitaine au 121e de ligne, à Saint-Étienne.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 26, rue de Pontoise.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

KUHN, Curé à Nagy-Szent, Miklos Comit Toront (Hongrie).

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie à Bordeaux.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 6, rue Cassini.

LACHEZ, Architecte, 113, rue Lafayette.

LACOINE (Émile), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).

LAFOREST (Comte de), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 39 *bis*, rue St-Ambroise, à Melun.

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

LAMANSKY, Professeur à l'Université, 14, rue Mochowaia, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LAMY, Directeur de la Manufacture de caoutchouc, à Chamalières (Puy-de-Dôme).

LAPLAICHE (Alexandre), Commissaire de surveillance administrative des Chemins de fer, à Besançon.

LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.

LARTIGUE, Directeur de la Société générale des téléphones, 66, rue Neuve-des-Petits-Champs.

LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée de Nancy.

LAWTON (George Fleetwood), Électricien de l'Eastern Telegraph Co, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LE BLANC (Félix), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 46, boulevard Magenta.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Directeur de l'Institution Saint-Sauveur, à Redon (Ille-et-Vilaine).

LECARME, Professeur au Collège Chaptal, 37, rue de Saint-Pétersbourg.

LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.

LECHATELLIER, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 33, rue du Cherche-Midi.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (François), Correspondant de l'Institut, à Cognac.

LEFEBVRE, Lieutenant au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

LEMOINE (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.

LEMOINE (G.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

MM.

LERMANTOFF, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte (Corse).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.

LÉVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Troyes.

LIBERT (**C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

LIPPMANN, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

LISBONNE (**Fernand**), Inspecteur de la Compagnie générale transatlantique, 73, boulevard Magenta.

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

LOIR, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Lyon.

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), premier aide à la chaire de Physique expérimentale de l'Université de Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LVOFF (**Th.**), Secrétaire de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MACÉ DE LÉPINAY, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, à Marseille.

MAGNE, Inspecteur des lignes télégraphiques, 34, avenue de Villiers.

MAISONOBE, Lieutenant du Génie, à Avignon.

MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MANEUVRIER, Agrégé, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MANGIN, Lieutenant-colonel du Génie, 18, boulevard des Invalides.

MARÉCHAL, Professeur au Lycée Fontanes, 52, rue Lemercier.

MAREY, Membre de l'Institut, 13, rue Duguay-Trouin.

MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MASCART, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSE, Professeur au Collège d'Épernay.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MAUMENÉ, Professeur à la Faculté catholique de Lyon.

MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue des Feuillantines.

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 17, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.

MÉNIER (**Henri**), 5, avenue Van-Dyck.

MERCADIER, Ss-Inspecteur des télégraphes, 65, rue de Bourgogne.

MM.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 44, rue Boursault.

MERSANNE (**de**), Ingénieur civil, 13, rue Vavin.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, 12, rue Ordener.

MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).

MEURIEN, Pharmacien, à Lille.

MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONCEL (Comte **du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg, et à Lebisey (près Caen).

MONTFERRIER (**Abel de**), Étudiant, 70, rue Blanche.

MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.

MONTEFIORE, 118, rue de Grenelle.

MONTEIL (**Silvain**), Professeur au Collège de Vannes.

MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.

MOREL, Maître de conférences à la Faculté de Médecine, à Lille.

MORIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Poitiers.

MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques, 83, rue de Rennes.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.

MOUCHOT, villa Bauer, à Alger (Algérie).

MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 29, boulevard Saint-Michel.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 47, rue des Feuillantines.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**, F. C. S.), 29, Regency-Street, Westminster S. W., Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (**David**), Chimiste au chemin de fer de l'Est, 98, rue du Faubourg-Poissonnière.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NIAUDET, Ingénieur civil, 6, rue de Seine.

NOAILLON, Ingénieur civil, 25 *bis*, rue Gutenberg, à Boulogne-sur-Seine.

ODINOT, Professeur au Collège d'Épinal.

OFFRET, Professeur au Lycée de Lille.

OGIER (**Jules**), 45, rue de Chabrol.

OLIVIER (**Louis**), Licencié ès Sciences naturelles, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue des Feuillantines.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 73, boulevard Haussmann.

MM.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PALMADE, Lieutenant du Génie, à Montpellier.

PARAYRE (l'Abbé), Licencié ès Sciences physiques, 74, rue de Vaugirard.

PASSOT (Dr), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, à Bône (Algérie).

PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue Monge.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PEREZ DE NUEROS (**Federico**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PHILIBERT, attaché au Ministère des postes et des télégraphes, à Marseille.

PHILIPPART (**Simon**), Ingénieur, 27, rue Bayen.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 43, rue Delambre.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATEAU, Membre de l'Académie royale des Sciences, 15, place du Casino, à Gand (Belgique).

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POINCARÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.

POLLARD, Ingénieur de la Marine, à Indret, par la Basse-Indre (Loire-Inférieure).

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 5, rue d'Argenteuil.

POTIER, Ingénieur des mines, répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

POUSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 62, rue de Provence.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur manufacturier, à Elbeuf.

POUSSIN (**Louis**), avocat, à Saint-Aubin-lès-Elbeuf.

PRAZMOWSKI, Constructeur d'instruments d'Optique, 1, rue Bonaparte.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PRIOUX, Professeur au Lycée St-Louis, 5, place Sorbonne.

PUCHEU, Professeur au Collège de Béziers.

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUYFONTAINE (Comtè **de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 59, rue Madame.

MM.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RANQUE (**Paul**), Étudiant en Médecine, 18, rue de la Sorbonne.

RAULX, Receveur des postes et télégraphes, à Aurillac.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

REGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie à la Sorbonne.

RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

REYNIER, Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 39, rue de Moscou,

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des hautes études, 85, rue d'Assas.

RICHARD, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle, à Paris.

RICHET (**Th.**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 5, rue Bonaparte.

RITTER, Professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy.

RIVIÈRE, Préparateur agrégé à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

ROBIN (**Ch.**), Directeur de l'École de l'orphelinat de Cempuis (Oise).

RODDE (**Ferd.**), 3, cité Magenta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 42, avenue Gabriel.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGNETTA (**F.-B.**), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

ROLLAND (**E.**), Membre de l'Institut, Directeur général des Manufacture de l'État, 66, rue de Rennes.

ROMANET, ancien Élève de l'École des Mines, à Bovelles, par Picquigny (Somme).

ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, 23, rue Lepeltier.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route Saint-Leu, à Enghien.

ROSSETTI, Professeur à l'Université de Padoue (Italie).

ROUSSE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne, 23, rue Neuve.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

MM.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

SALET, Maître de conférences de Chimie à la Sorbonne, 120, boulevard Saint-Germain.

SANDOZ (Albert), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 4, rue des Fossés-Saint-Jacques.

SARCIA (Gril), Capitaine d'Artillerie de Marine, 9, rue de Tocqueville.

SAUTTER (Gaston), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (Henri), Commis principal des Télégraphes, 2, rue de l'École-Normale, à Évreux.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

SEBERT, Lieutenant-Colonel d'Artillerie de Marine, 17, boulevard de Courcelles.

SÉGUIN, Ancien Recteur, 70, boulevard Saint-Michel.

SEIGNETTE (Adrien), Licencié ès Sciences, 87, rue du Bac.

SERRÉ-GUINO, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SERRIN (V.), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SICCARDI (le Comte **Émile**), Ingénieur, 7, via Cavour, à Turin (Italie).

SIMON, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

SIMOUTRE (l'Abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (G.), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Collège Rollin, 116, rue de Rennes.

SOURDEVAL (de), 22, rue Bergère.

SPOTTISWOODE (W.), Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.

STAPFER (Daniel), Ingénieur, à Marseille.

STREET, Ingénieur, 27, rue Tronchet.

STEPANOFF, Préparateur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (G.-G.), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (Al.), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSERENC DE BORT (Léon), Attaché au Bureau central météorologique, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

TERNANT, Représentant de l'Eastern Telegraph C°, 62, boul. de Longchamp, à Marseille.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.

THENARD (**Arnould**), 36, rue de Lille.

THIERCELIN, Élève à l'École Centrale, 12, rue de Beaune.

THOLLON, 3, rue Soufflot.

THOMSON (**Silvanus-P.**), Professeur à University College, Bristol (Angleterre).

THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THYRION, Professeur au Collège de Fontainebleau.

TILMANT (**Victor**), Directeur de l'École supérieure à Lille.

TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 50, avenue de Wagram.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (le Dr), 4, rue de Hanovre.

TROTIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, 34, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

TURIÈRE, Professeur au Collège de Bédarieux.

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ FIQUET-BENONI, Négociant, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VAN DER VLIET, Privat-Docent de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électromagnétiques, 7, rue du Remorqueur, à Bruxelles (Belgique),

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VILLIERS (**Antoine**), Chef des travaux chimiques à l'École de Pharmacie, 125, rue Notre-Dame-des-Champs.

VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).

VIOLLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

VIORRAIN, Préparateur de Chimie, 65, rue du Cardinal-Lemoine.

VOIGT, Professeur au Lycée de Lyon.

WLADIMIRSKI (**Alexis**), Professeur de Physique à l'École technique de Moscou (Russie).

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 73, Portland place, Londres, W.

MM.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique, 11, rue Berthollet.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WEYER, 50, route d'Aubervilliers, à Pantin.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 127, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 81, rue des Feuillantines.

WUNSCHENDORFF, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 17, rue Jeanne-d'Arc, à Rouen.

XAMBEU, Professeur au Collège de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'École Impériale technique, à Moscou (Russie).

Février 1881.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 16 JANVIER 1880 5
Expériences de M. Crookes sur le passage de l'électricité dans les gaz très raréfiés; par M. *Bouty* 7

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1880 15
Observations sur la théorie des sphères pulsantes de M. Bjerknes; par M. *Th. Schwedoff* 16
Mesure des forces électromotrices des piles et des forces électromotrices de contact des métaux; par M. *Pellat* 18

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1880 26
Expériences sur la compressibilité des mélanges gazeux; par M. *Cailletet* 27
Sur la mesure des longueurs d'ondulation des radiations infra-rouges; par M. *L. Mouton* 29

SÉANCE DU 5 MARS 1880 34
Sur le rendement économique des moteurs électriques et sur la mesure de la quantité d'énergie qui traverse un circuit électrique; par M. *Marcel Deprez* 35
Galvanomètre de M. Marcel Deprez; par M. *Niaudet* 39

SÉANCE DU 19 MARS 1880 42
Appareils et expériences pour les démonstrations d'Optique élémentaire; par M. *C.-M. Gariel* 43
Synchronisme électrique de deux mouvements quelconques; par M. *Marcel Deprez* 48
Un nouveau photomètre; par M. *D. Napoli* 53
La lentille à foyer variable du Dr Cusco; par M. *C.-M. Gariel* 57

SÉANCE DU 2 AVRIL 1880 (séance de Pâques) 61
Note sur un nouvel électromètre capillaire; par M. E. *Debrun* 63
Mesure spectrométrique des hautes températures; par M. *Crova* 65

Pages

SÉANCE DU 16 AVRIL 1880 67
Sur la balance d'induction et le sonomètre électrique de M. Hugues; par M. *A. Bertin* 68
Boussole des sinus et des tangentes de Pouillet, modifiée par M. *E. Ducretet* 78
Explorateur électrique de M. Trouvé; par M. *C.-M. Gariel* 79
Appareil de M. Trouvé pour l'examen des cavités profondes naturelles ou artificielles; par M. *C.-M. Gariel* 80

SÉANCE DU 7 MAI 1880 82
Des vibrations à la surface d'un liquide placé dans un vase de forme rectangulaire; par M. *Lechat* 83
Sur la combinaison de l'hydrogène phosphoré avec l'acide chlorhydrique; par M. *J. Ogier* 95
Mesure des forces électromotrices thermo-électriques au contact d'un métal et d'un liquide; par M. *E. Bouty* 96
Mesure absolue du phénomène de Peltier au contact d'un métal et de sa dissolution; par M. *E. Bouty* 101
Sur une nouvelle pince à tourmalines; par M. *Bertin* 104

SÉANCE DU 21 MAI 1880 107
Sur les miroirs magiques; par M. *Bertin*, avec la collaboration de M. *Duboscq* 108
Sur un cas de polarité rémanente de l'acier opposé à celle de l'hélice magnétisante qui la produit; par M. *A. Righi* 114

SÉANCE DU 4 JUIN 1880 116
Frein funiculaire; par M. *Carpentier* 116
Sur l'absorption atmosphérique des radiations ultra-violettes; par M. *A. Cornu* 119

SÉANCE DU 18 JUIN 1880 131
Sur la polarisation rotatoire et l'hypothèse de Fresnel; par M. *Gouy* ... 133

SÉANCE DU 2 JUILLET 1880 137
Mesure de l'astigmatisme; par M. le Dr *Javal* 138
Pile voltaïque énergique et constante fournissant des résidus susceptibles d'être régénérés par électrolyse; par M. *E. Reynier* 140

SÉANCE DU 16 JUILLET 1880 145
Sur les courants alternatifs et la force électromotrice de l'arc voltaïque; par M. *J. Joubert* 146

SÉANCE DU 22 OCTOBRE 1880 153
Le photophone de Bell; par M. *A. Bréguet* 153

Pages.

SÉANCE DU 5 NOVEMBRE 1880 160
Sur les propriétés optiques des mélanges de sels isomorphes; par M. *H. Dufet* 161
Note sur quelques applications des systèmes articulés; par M. *P. Robin*. 164
Théorie des machines à courants alternatifs; par M. *J. Joubert* 167

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1880 173

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1880 175
Recherches sur les différences de potentiel de deux métaux au contact; résultats; par M. *H. Pellat* 176
Sur la radiophonie; par M. *Mercadier* 184

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1880 188
Sur la constitution de la flamme de la lampe Bunsen et quelques modifications apportées à la construction de cette lampe; par M. *A. Terquem* 189
Sur une nouvelle propriété électrique du sélénium et sur l'existence des courants tribo-électriques proprement dits; par M. *R. Blondlot* .. 196

ALLOCUTIONS PRONONCÉES SUR LA TOMBE DE *J.-Ch. d'Almeida* : 198
Discours de M. *Mascart* 198
Discours de M. *de Gasté* 200
Discours de M. *G. Bonnier* 201

Catalogue de la Bibliothèque de la Société 205
Instruments reçus par la Société 215
Liste des Membres de la Société 217

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

6787 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.